

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(РОСГИДРОМЕТ)

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ “ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ”

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ “ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЭРОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ”

**Методические рекомендации
по использованию данных профиломеров МТП-5**

Москва

2010

СОДЕРЖАНИЕ		Стр.
	ВВЕДЕНИЕ	3
1.	Определение характеристик термического состояния в слое измерений	5
1.1.	Тип термической стратификации	5
1.2	Вертикальный градиент температуры	6
1.3	Высота слоя перемешивания	6
1.4	Параметры инверсии	8
2	Характеристики термического состояния в заданный интервал измерений	9
2.1	Тип термической устойчивости	9
2.2	Продолжительность инверсии температуры, границы и величина	10
2.3	Средняя и характерная высота слоя перемешивания	12
3	Анализ аномалий суточного хода температуры	13
3.1	Прохождение холодного атмосферного фронта	13
3.2	Вторичный холодный фронт	16
3.3	Теплый атмосферный фронт	17
3.4	Отсутствие суточного хода температуры	18
3.5	Адвекция воздушной массы	19
3.6	Переменная облачность и внутримассовые осадки	22
4.	Инверсия температуры	23
4.1	Радиационная (приземная) инверсия	23
4.2	Приподнятая инверсия температуры. Городская инверсия	25
4.3	Адвективная инверсия температуры	29
4.4	Инверсия оседания	30
4.5	Инверсия испарения	31
4.6	Инверсия аэрозольного нагревания	33
5.	Идентификация термических условий образования гололеда	36
6.	Использование данных МТП-5 для анализа и прогноза НМУ	37
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	43
	Приложение 1	44

ВВЕДЕНИЕ

Нижний слой атмосферы отличается от других частей атмосферы значительной внутрисуточной изменчивостью всех метеорологических характеристик. Наблюдения за его состоянием с помощью стандартных средств измерений – радиозондирования - не соответствуют временным и пространственным масштабам этой изменчивости.

Измерительный комплекс МТП-5 позволяет отображать термическую структуру нижнего 600-метрового слоя атмосферы и получать ее временную динамику. Основной задачей настоящего методического пособия является методическое сопровождение получения навыков распознавания атмосферных процессов по визуализированным данным измерений прибором МТП-5.

Методические рекомендации предназначены:

- специалистам - синоптиками для использования в оперативной практике;
- специалистам – прогнозистам метеорологических условий и загрязнения воздуха;
- исследователям процессов в атмосферном пограничном слое

Методические рекомендации описывают общие правила анализа визуализированных измерений прибором МТП-5, которые имеют целью:

-при анализе атмосферных процессов с использованием синоптических материалов: уточнить и детализировать атмосферные процессы, идентифицировать признаки изменения погоды и предпосылки для возникновения опасных явлений;

-при оценке и прогнозе метеоусловий загрязнения атмосферы: установить степень изменчивости атмосферных процессов, а также диагностировать, оценить целесообразность и возможность инерционного прогноза термической устойчивости;

-при изучении особенностей процессов в пограничном слое атмосферы: получать количественные термические характеристики, распознавать в визуализированных данных измерений МТП-5 явления и процессы в нижних слоях атмосферы.

Рекомендации предусматривают анализ данных МТП-5 двух режимов:

- а) стационарные /мобильные наблюдения без применения архивного материала;
- б) накопленные данные за период измерений МТП-5 не менее 1 года для получения выводов об изменчивости термического состояния при различных типах погодных условий в отдельные сезоны года.

Методические рекомендации структурно состоят из

- рекомендаций для определения термических характеристик в указанный срок (часть 1);
- рекомендаций для получения средних характеристик за период (часть 2);
- рекомендаций по идентификации атмосферных процессов различного масштаба и явлений (часть 3);
- рекомендаций по проведению анализа инверсий температуры (раздел 4);
- рекомендаций последовательности анализа процессов в нижних слоях атмосферы при оценке метеорологических условий загрязнения воздуха (часть 6)
- Приложения 1. Соответствие между классами устойчивости и температурной стратификацией

Основным обучающим приемом документа является краткое описание атмосферного процесса с иллюстрацией его в визуализированных данных МТП-5. К некоторым рисункам дается описание частного события, позволяющее в деталях рассмотреть динамику процесса и получить навыки идентификации или определения характеристик подобных явлений. Многие процессы рассматриваются с точки зрения смены воздушной массы – как фактора очищения приземного воздуха от антропогенных примесей.

1. Определение характеристик термического состояния в слое измерений

1.1. Тип стратификации

Для анализа термической стратификации используется окно «Профиль», в котором отображается профиль сухой адиабаты и определяется тип стратификации – неустойчивая, безразличная или устойчивая (рисунок 1). Тип термической стратификации оценивается в моменты времени, фиксируемых в окне «термограммы», при перемещении стрелок временного счетчика в окне «Профиль», используя восстановленную от приземной температуры линию сухой адиабаты.

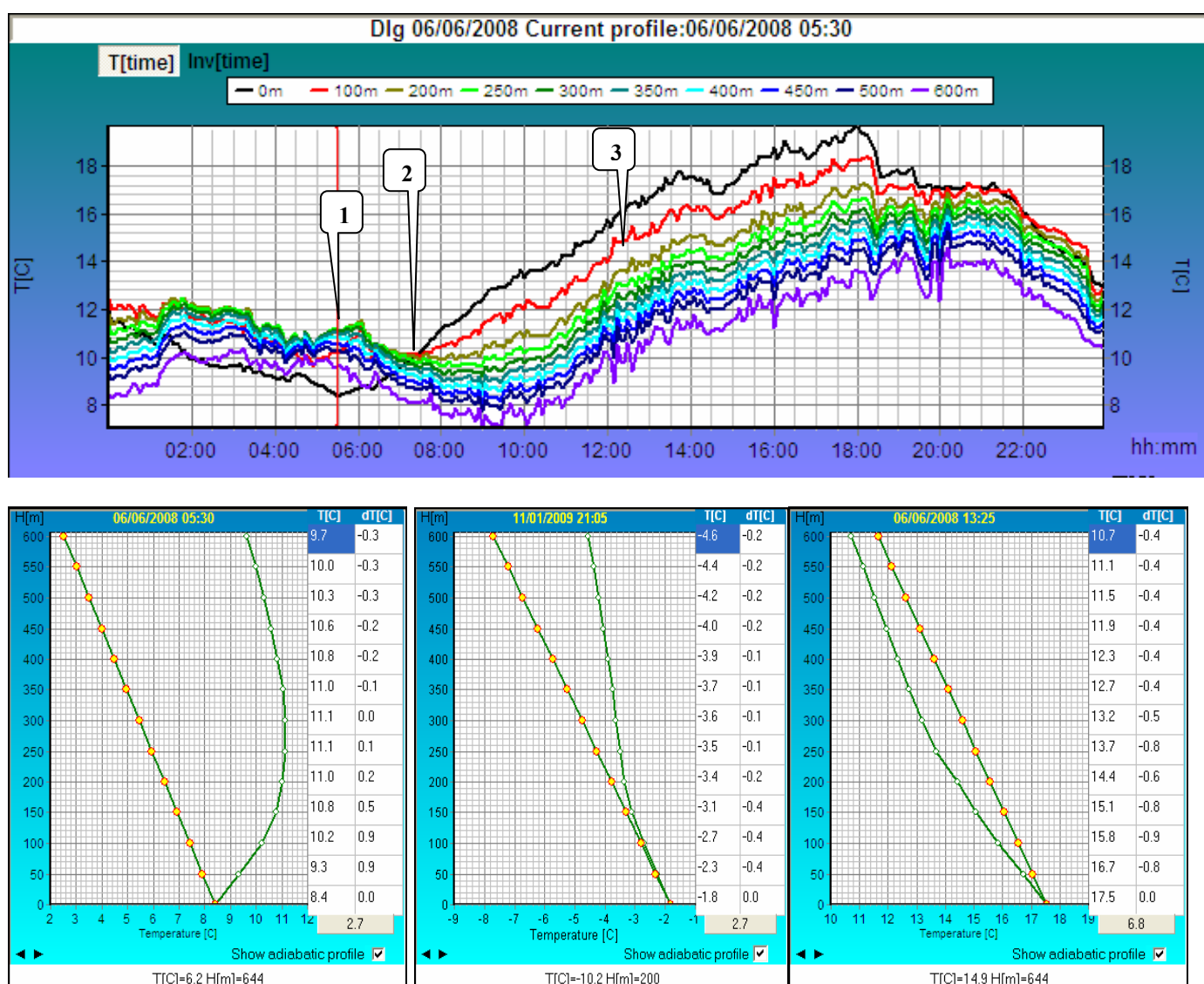


Рисунок 1 – Суточный ход температуры (верх) в слое 0-600 м в виде термограмм и три типа стратификации: 1- устойчивая (внизу слева), 2- безразличная (в центре), 3-неустойчивая (справа). На нижних рисунках прямая с маркером в виде кружка- сухая адиабата

1.2 Вертикальный градиент температуры

В окне «Профиль» в правой части приводятся значения температуры на уровнях от поверхности земли до высоты 600 (1000м) через каждые 50 м (рисунок 1, нижний). Для характеристики термического состояния, как правило, определяется градиент температуры в приземном слое (0-100 м) по формула (1) либо в слое заданной толщины (h_i - h_{i+n}) как разность температуры на уровне h_i и уровне h_{i+n} , которая нормируется на толщину рассматриваемого слоя (i)-($i+n$) в сотнях метров, формула (2).

$$\gamma_{(0-100)} (\text{°C}/100 \text{ м})= T(0) -T(100) \quad (1)$$

$$\gamma_{(h_i- h_{i+n})} (\text{°C}/100 \text{ м})= T(h_i) -T(h_{i+n}) /0.01(h_i- h_{i+n}) \quad (2)$$

1.3 Высота слоя перемешивания

В общем виде слой перемешивания определяется высотой нижней границы приподнятой инверсии потенциальной температуры, лежащей над конвективным слоем.

Графически определение высоты (толщины) слоя перемешивания (ВСП) состоит в установлении уровня пересечения стратификации температуры с сухой адиабатой, восстановленной от приземной температуры (в случае относительной влажности воздуха более 92% - с влажной адиабатой). Учитывая погрешность измерений температуры прибором МТП-5, при определении высоты слоя перемешивания в окне «Профиль температуры» от точки пересечения кривой стратификации температуры с сухой адиабатой добавляется слой, где между этими линиями разность температуры остается меньше 0.5°C .

На рисунке 2 приведены все основные типы стратификации. В случае приземной инверсии температуры высота слоя перемешивания отсутствует (рисунок 2а), в случае приподнятой инверсии высота слоя перемешивания определяется от точки пересечения стратификации с сухой адиабатой + слой с отклонением стратификации от сухой адиабаты не более 0.5°C (рисунок 2б). В случае слабой термической устойчивости (рисунок 2в), так же как в случае изотермии ((рисунок 2е) высотой слоя перемешивания является высота слоя с отклонением стратификации от сухой адиабаты не более чем на 0.5°C . Если во всем слое измерений МТП-5 стратификация температуры лежит левее сухой адиабаты, высота слоя перемешивания превышает слой измерений и определяется как более 600 м.

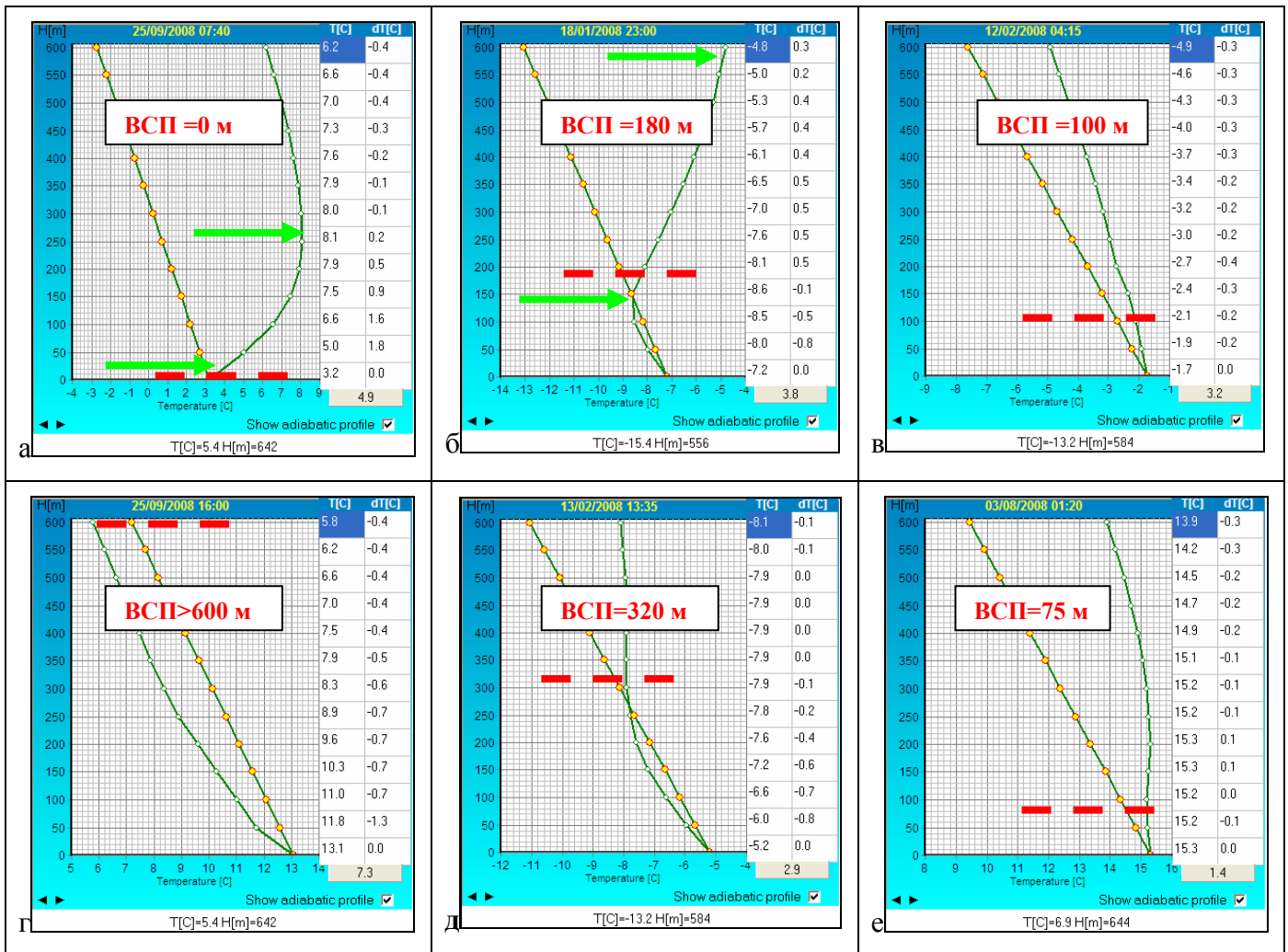


Рисунок 2 – Высота слоя перемешивания при различных типах стратификации температуры (красная штриховая линия) Зелеными стрелками показаны границы температурной инверсии.

Для использования ВСП в качестве предиктора в расчетных схемах можно воспользоваться формулой Зилитинкевича

$$\text{ВСП} = \chi(u_* L f^{-1})^{0.5} \quad (3)$$

где $\chi = 0.4$ - постоянная Кармана

u_* - скорость трения (динамическая скорость)

L - масштаб длины Монина –Обухова, характеризующий стратификацию приземного слоя

$f = 2\omega \sin\varphi$ – параметр Кориолиса

Для нейтрально стратифицированного стационарного ПСА:

$$\text{ВСП} = \alpha 0.4(u_* L f^{-1})^{0.5} \quad (4)$$

α эмпирический коэффициент, который в зависимости от типа стратификации меняется от 0.05 до 0.4. Летом – при умеренной и сильной неустойчивости $\alpha = 0.8$

Для грубой оценки ВСП можно использовать следующую формулу

$$\text{ВСП} = \alpha u_* f^{-1} \quad (5)$$

В умеренных широтах $f = 10^{-4} \text{ с}^{-1}$.

Для зимних условий при нейтральной или слабоустойчивой стратификации (при $\alpha = 0.185$ и $z_0 = 0.05 \text{ м}$)

$$\text{ВСП} \approx 125 U_{10} \quad (6)$$

U_{10} - средняя скорость ветра на высоте 10 м

1.4 Параметры инверсии

В случае инверсионного профиля температуры (повышение температуры с высотой) в окне «Профиль» определяются характеристики инверсии: нижняя и верхняя границы ($H_{\text{инв}}$, $V_{\text{инв}}$, м) и величина ($\Delta T_{\text{инв}}$, °С).

Примечание. Учитывая погрешность определения температуры прибором МТП-5 около 0.5°С, границы инверсионного слоя определяются с уровня невыполнения условий повышения/понижения температуры

Для характеристики инверсии выбирается наблюдавшаяся не менее 1 часа устойчивая стратификация и определяются ее параметры. На рисунке 2 показаны зелеными стрелками границы инверсии. На рисунке 2а, где представлена приземная инверсия, $H_{\text{инв}} = 0 \text{ м}$, $V_{\text{инв}} = 250 \text{ м}$, $\Delta T_{\text{инв}} = 4.9^\circ\text{С}$. Приподнятая инверсия температуры, отображенная на рисунке 2б, имеет следующие характеристики: $H_{\text{инв}} = 150 \text{ м}$, $V_{\text{инв}} > 600 \text{ м}$, $\Delta T_{\text{инв}} = 3.9^\circ\text{С}$.

2. Характеристики термического состояния в заданный интервал измерений

2.1 Тип термической устойчивости

В нижнем слое атмосферы происходят самые значительные внутрисуточные изменения. Часто требуется установить характеристики процессов в АПС, определяющих перенос субстанции от поверхности земли. Рекомендуется рассчитывать тип стратификации в характерные периоды суток ночь, утро, день и вечер:

- холодный сезон: ночь (19- 07ч), утро (07- 10), день (11-16 ч) и вечер (16-19ч) (время местное)
- теплый сезон: ночь (22 – 06 ч), утро (06- 09), день (10-19 ч) и вечер (19-22ч).

Для каждого интервала определяется преобладающий по продолжительности или преобладающий во второй половине рассматриваемого периода тип термической стратификации

- *устойчивый* (инверсионный) с градиентом температуры в приземном слое

$$\gamma_{100} < 0^{\circ}\text{C}/100 \text{ м} \quad (7)$$

- *слабоустойчивый* с градиентом температуры в приземном слое

$$0^{\circ}\text{C}/100 \text{ м} \leq \gamma_{100} < 0.98^{\circ}\text{C}/100 \text{ м} \quad (8)$$

- *неустойчивый* с градиентом температуры в приземном слое

$$\gamma_{100} \geq 0.98^{\circ}\text{C}/100 \text{ м} \quad (9)$$

Примечание. При относительной влажности воздуха более 92% тип термической стратификации

- *слабоустойчивый* с градиентом температуры в приземном слое $0^{\circ}\text{C}/100 \text{ м} \leq \gamma_{100} < 0.6^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$ (10)

- *неустойчивый* с градиентом температуры в приземном слое $\gamma_{100} \geq 0.6^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$ (11)

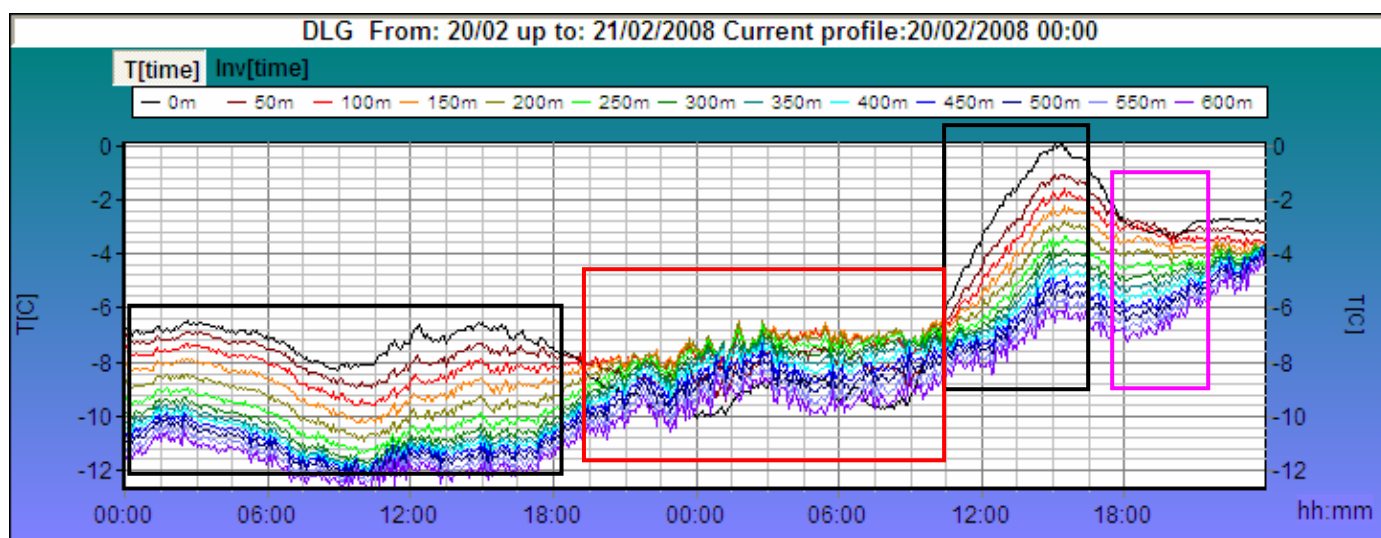


Рисунок 3 - В суточном ходе стратификации температуры (2 суток) черным контуром выделены периоды термической неустойчивости, красным - устойчивости, розовым - слабой устойчивости.

2.2 Продолжительность инверсии температуры, границы и величина

Для определения продолжительности инверсий температуры стыкуются даты начала ее образования и разрушения: в теплый сезон, как правило, это двое суток (накануне и текущие), в зимнее время инверсии могут сохраняться до 5-6 суток, в редких случаях до 8 и более суток.

Для задач, связанных с исследованием инверсий, продолжительность определяется с момента образования до разрушения инверсии. Для изучения связей инверсий с измеряемыми в дискретные сроки примесями продолжительность определяется в установленном интервале времени, предшествующем времени измерений концентраций. Как известно, температурные инверсии разделяются на радиационные, адвективные, инверсии оседания и смешанного типа.

Радиационные (приземные) инверсии образуются на заходе солнца, разрушаются с восходом солнца. Чаще всего приземная инверсия формируется менее чем за 1 час, разрушение приземной инверсии происходит в течение 1-2 часов. С учетом этого **продолжительность приземной инверсии** (в часах) определяется с часа установления инверсионного профиля температуры до времени появления адиабатического градиента температуры в нижнем 100-метровом слое, обозначающего переход к конвективному перемешиванию в нижнем слое (рисунок 4). Нижняя граница приземной инверсии приравнивается к 0 м, верхняя – определяется по преобладающей величине (модальная) за время существования или в период максимального развития, в соответствии с выбранным подходом определяется величина инверсии - либо как средняя в период преобладающей величины, либо выбирается как наибольшая величина во время максимального развития инверсии.

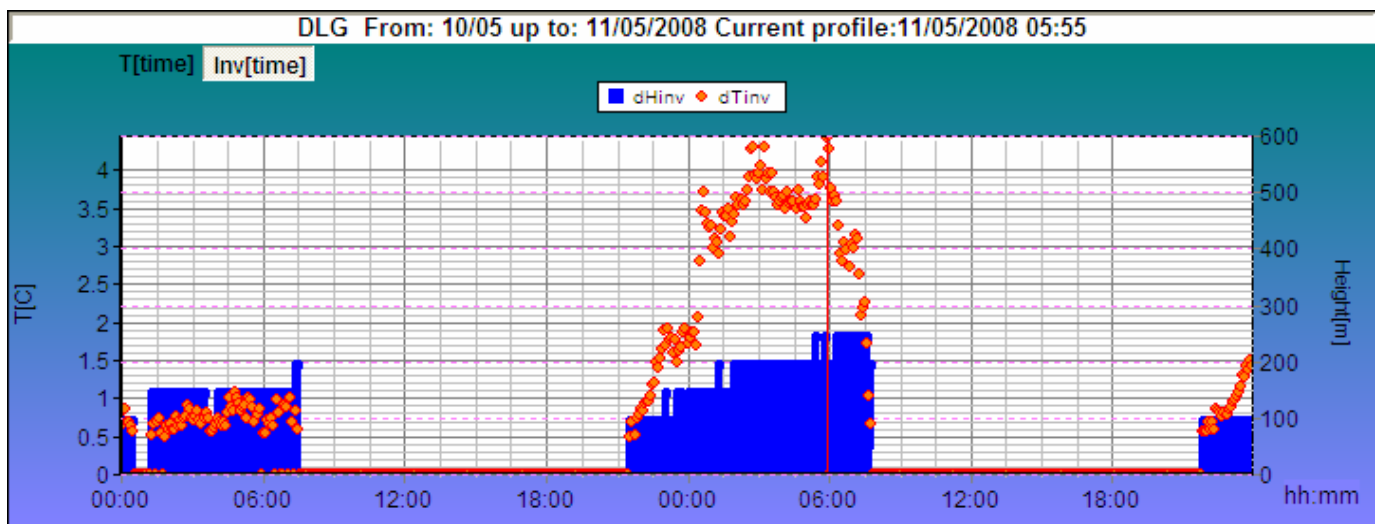
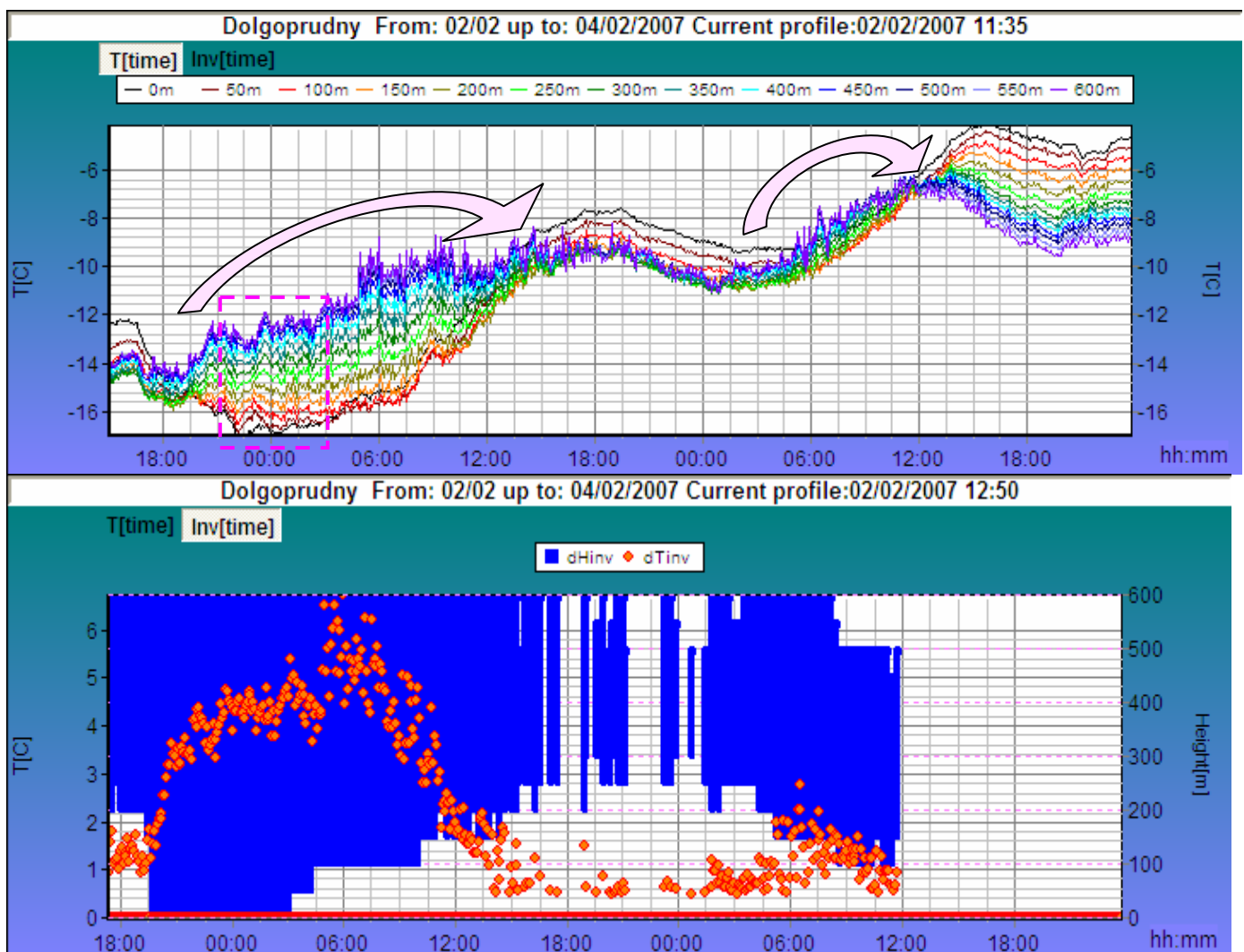


Рисунок 4 - Характеристики инверсии температуры. Ночью 10 мая продолжительность инверсии составила 7.5 часов, нижняя граница 0 м, верхняя граница 150 м, величина 0.8°C (максимальная 1°C). Инверсия 11 мая образовалась накануне вечером (21 ч) и сохранялась до 7 ч утра; ее продолжительность - 10 часов. Характерная величина инверсии 11 мая - 3.5°C (максимальная 4.5°C), характерная верхняя граница 200 м (средняя 175 м).

Адвективные инверсии, обусловленные натеканием теплого воздуха на более холодный, включая фронтальную инверсию теплого фронта. Последовательность определения продолжительности приподнятой инверсии и ее характеристик:

- рассчитывается продолжительность инверсии (в часах);
- если нижняя граница приподнятой инверсии изменяется в пределах 100-150 м, НГ определяется по преобладающей высоте в установленном временном интервале (рисунок .22 янв09.).
- если НГ колеблется в широком диапазоне, определяется средняя величина НГ в рассматриваемом периоде

На рисунке 5 показаны эпизоды адвективной инверсии температуры, основным признаком которой является повышение температуры на верхних уровнях измерений МТП-5.



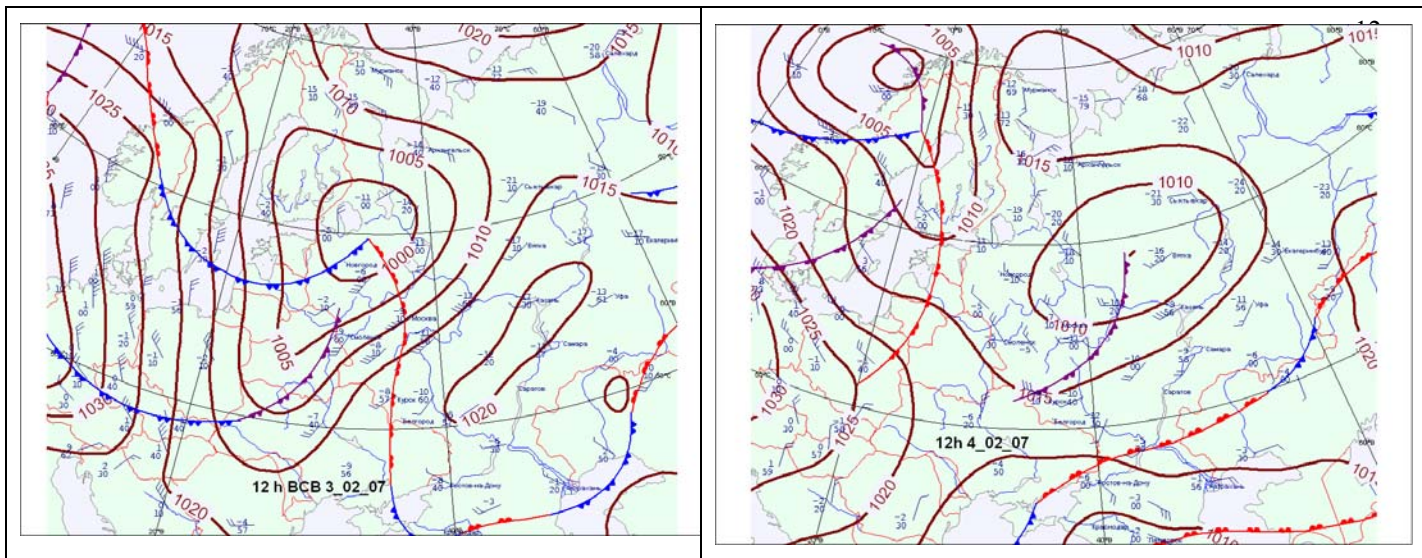


Рисунок 5- Пример смешанной адвективно-радиационной инверсии температуры и карты погоды в эпизоде. Первая волна тепла (розовая стрелка на верхнем рисунке) продолжалась 12-14 часов с повышением температуры почти на 5°C во всем слое измерений. На фоне ночного роста температуры при слабом ветре, благодаря выхолаживанию, произошло опускание нижней границы инверсии до земли (на верхнем рисунке 5 розовый контур). С усилением турбулентного перемешивания в связи с усилением ветра нижняя граница инверсии приподнялась (внизу), а величина адвективной инверсии достигла 6 °С - максимума в эпизоде. Вторая волна тепла была менее мощной, продолжалась около 8 часов; величина инверсии в максимуме составила 2°C, характерная высота нижней границы-150 м, верхней-550 м..

В некоторых ситуациях наблюдается неоднократный переход приземной инверсии в приподнятую, что свидетельствует о нестационарности атмосферных процессов- воздействии на термическую структуру нижних слоев атмосферы локальных мезомасштабных факторов (например, появление струйного течения нижнего уровня) или о предстоящих изменениях крупномасштабных процессов (приближении атмосферного фронта, смены воздушной массы и т.д). Такие ситуации следует рассматривать как случаи **приподнятой инверсии**, определяя преобладающие в периоде высоту нижней и верхней границы, а также величину инверсии.

Примечание. Если приземная инверсия, разрушаясь, переходит в приподнятую, которая сохраняется не более 1 часа, можно пренебречь этим и продолжительность инверсии определять с момента образования приземной инверсии до полного разрушения

2.3 Средняя и характерная высота слоя перемешивания.

Для задач, связанных с оценкой влияния метеоусловий на перенос примесей, рекомендуется определять *среднюю высоту слоя перемешивания* для заданных внутрисуточных

временных интервалов (см. 2.1). Для определения средней ВСП, учитывая инерцию процессов, рекомендуется принимать кратные 3 часам отсчеты:

-ночь 0ч и 3 ч (местное время)

-утро 6ч и 9ч,

-день 12ч и 15ч,

-вечер 18ч и 21ч

Если средняя ВСП рассчитывается для 12-ти часовых интервалов, к ночным срокам относятся 21ч, 0ч, 3ч и 6ч, к дневным 9ч, 12ч, 15ч и 18 ч

Возможно определение *характерной высоты слоя перемешивания* более грубым способом: для ночи ВСП определяется в срок 3ч, для утреннего периода – в 9 ч, днем - 15ч, вечером - 21ч.

3. Анализ аномалий суточного хода температуры

Отклонения от нормального суточного хода температуры в АПС указывают на влияние локальных факторов и изменения под воздействием крупномасштабных атмосферных процессов, включая атмосферные фронты. Принимается, что нормальный суточный ход температуры в АПС – внутрисуточные изменения температуры на измеряемых уровнях при малооблачной или ясной погоде при стационарном атмосферном процессе при слабой или умеренной скорости переноса в нижней атмосфере; т.е., изменения температуры в АПС в термически однородной воздушной массе в отсутствии адвекции и осадков.

Типовой суточный ход температуры в АПС в теплый сезон характеризуется устойчивым состоянием в ночное время и неустойчивым днем температуры. На всех высотах измерений температура имеет максимальную амплитуду: в приземном слое 10 -15°C, на высоте 550-600 м 2-4°C.

Типовой суточный ход температуры в АПС в холодный сезон отличается от летнего меньшей суточной амплитудой и растянутым по сравнению с теплым периодом устойчивой стратификации.

Все отклонения от типового суточного хода температуры – результаты влияния различных факторов, установление которых является вспомогательным и уточняющим средством оценки процессов и явлений в предшествующий период.

3.1 Прохождение холодного атмосферного фронта

Наиболее резкие аномалии в суточном ходе температуры связаны с прохождением атмосферного фронта и выпадением осадков. На рисунках 6 и 7 показаны изменения температуры при прохождении холодного фронта. Если холодный фронт проходит днем, перед фронтом в

теплом секторе вертикальные градиенты температуры достигают максимальных значений. При приближении фронтальной облачности (чаще всего за 1-2 часа) наблюдается понижение приземной температуры и прекращается ее повышение в вышележащем слое.

Прохождение зоны фронта сопровождается резким падением температуры во всем слое, частыми кратковременными пульсациями температуры на верхних уровнях измерений, указывающие на процессы вертикального перемешивания с опусканием порций более холодного воздуха из вышележащих слоев тропосферы. В зоне фронта вследствие перемешивания нижний 600-метровый слой практически термически однороден.

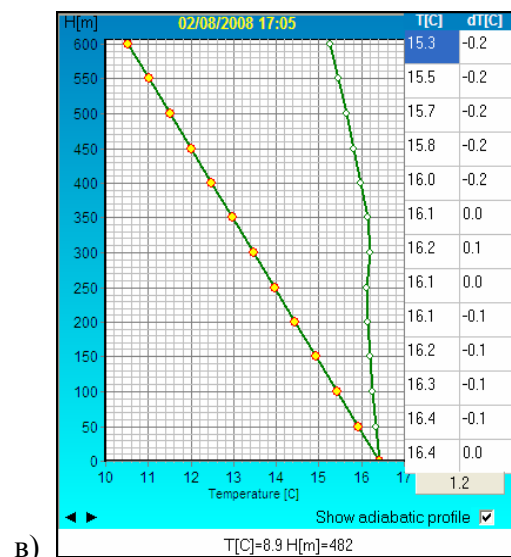
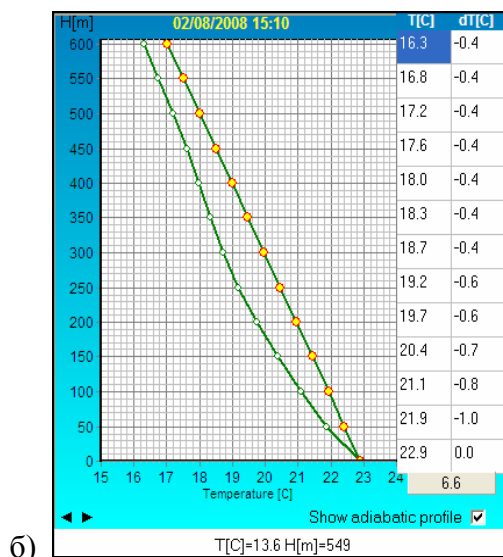
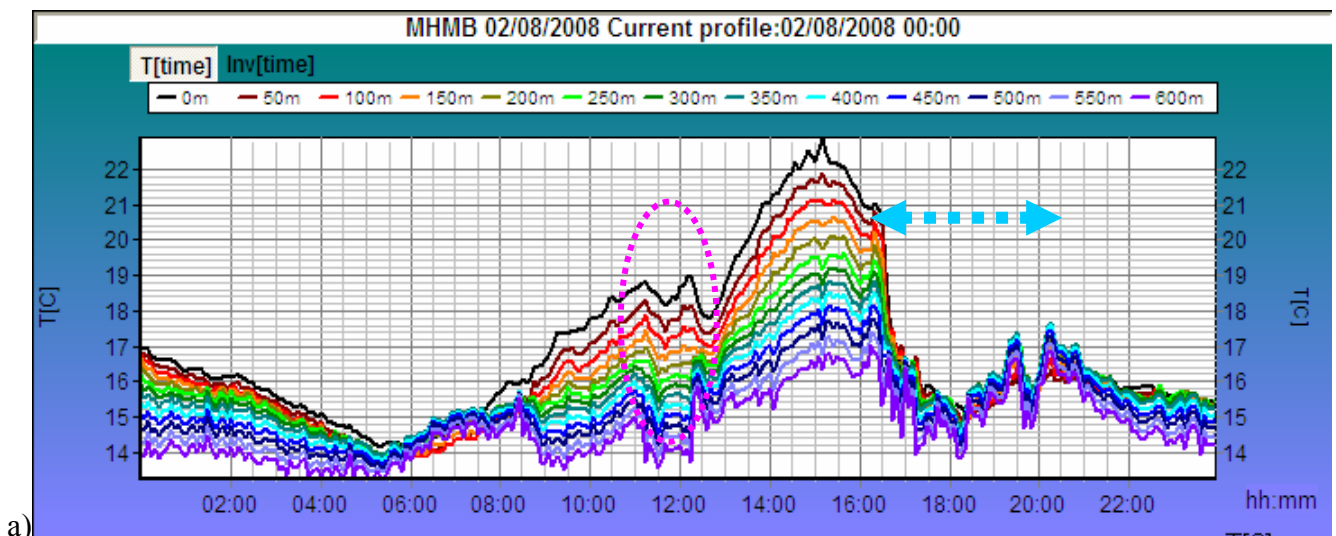
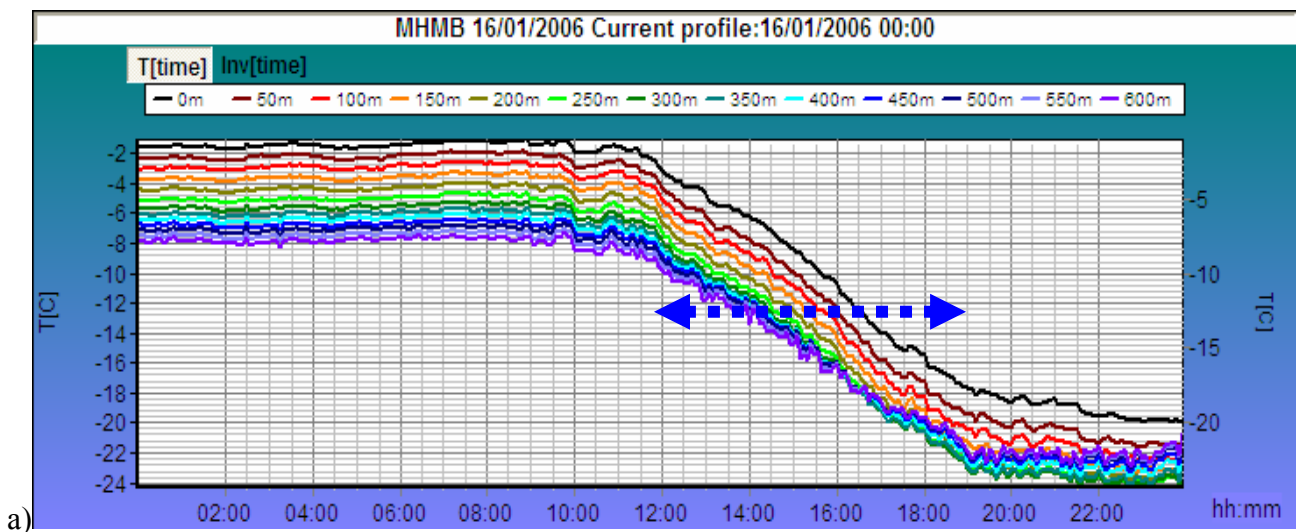


Рисунок 6 - (а) Прохождение холодного атмосферного фронта (синяя стрелка 16:30-21:00). Стратификация температуры перед фронтом (б) - сильная неустойчивость и в зоне фронта (в) - практически изотермия. Лето.

В теплый сезон перед холодным фронтом в теплом секторе часто образуется сопровождаемая усилением ветра и выраженная в облачности «полоса» неустойчивости. На рисунке 6 (верх, выделено розовым контуром) ее можно идентифицировать по нехарактерному для времени суток скачку температуры в нижнем слое и пульсациям температуры на верхних уровнях вследствие интенсивного вертикального перемешивания в мезомасштабном вихре.

Тыловая граница фронтальной зоны, т.е. приход новой холодной воздушной массы, определяется по замедлению или прекращению понижения температуры на верхних уровнях измерений МТП-5.

Прохождение холодного фронта зимой отличается от летнего отсутствием зоны интенсивного конвективного перемешивания; понижение температуры наблюдается одновременно во всем слое измерений (рисунок 7) и продолжается до окончательной замены на новую холодную воздушную массу (показано стрелкой). Прохождение холодного фронта сохранением, а иногда и увеличением вертикальных градиентов температуры в приземном слое (рисунок 7а) и образованием ночью термической инверсии после прохождения фронта (рисунок 7б)..



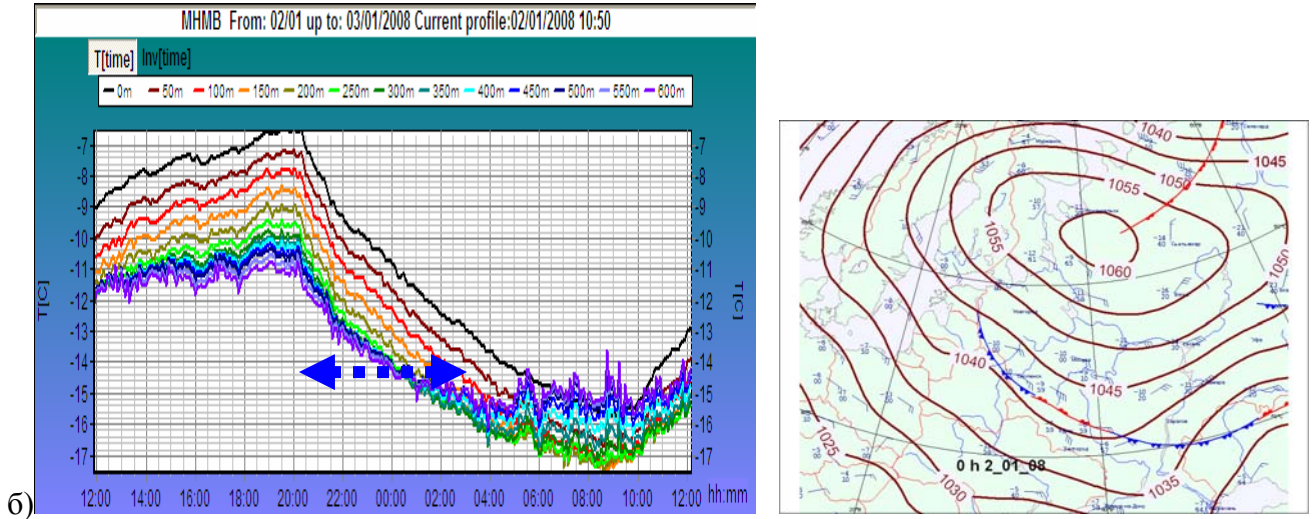
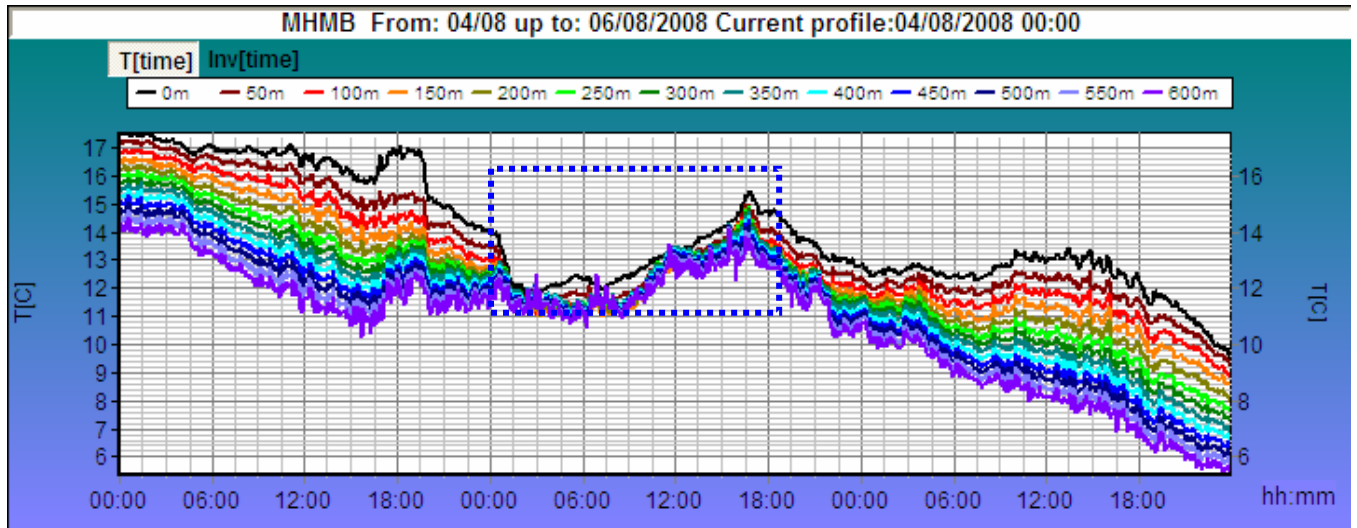


Рисунок 7 - Прохождение холодного атмосферного фронта зимой (синяя стрелка). Зима

3.2 Вторичный холодный фронт

Прохождение вторичного холодного фронта сопровождается интенсивным вертикальным перемешиванием и выравниванием вертикальных градиентов температуры в зоне фронта. На рисунке 8 показаны изменения температуры в тылу циклона.

а



б

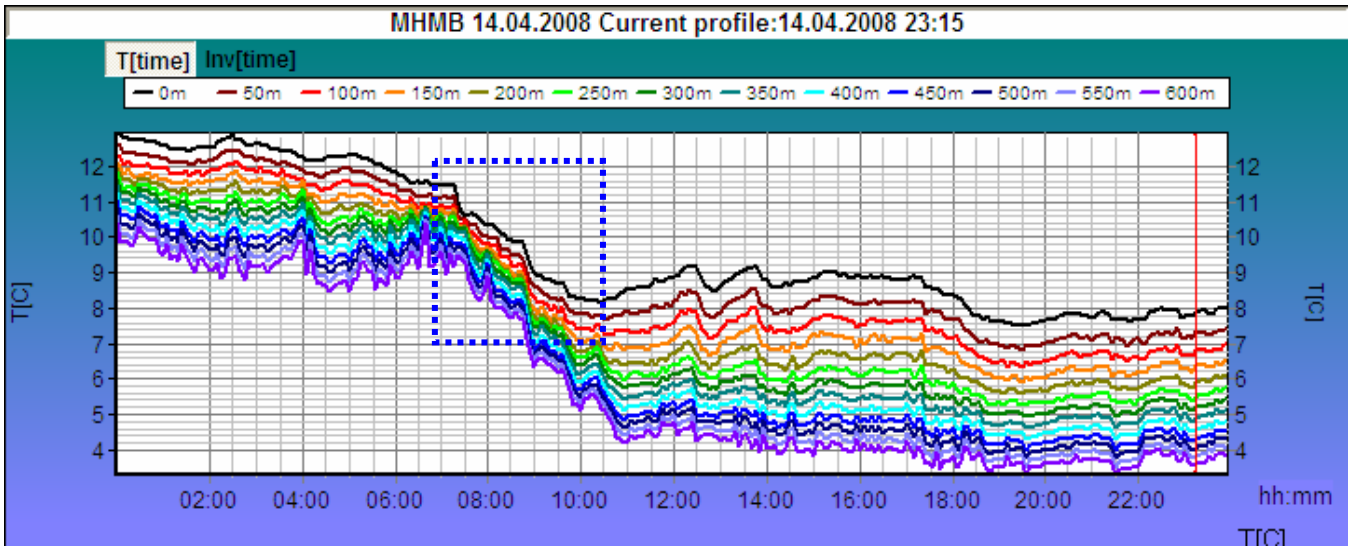
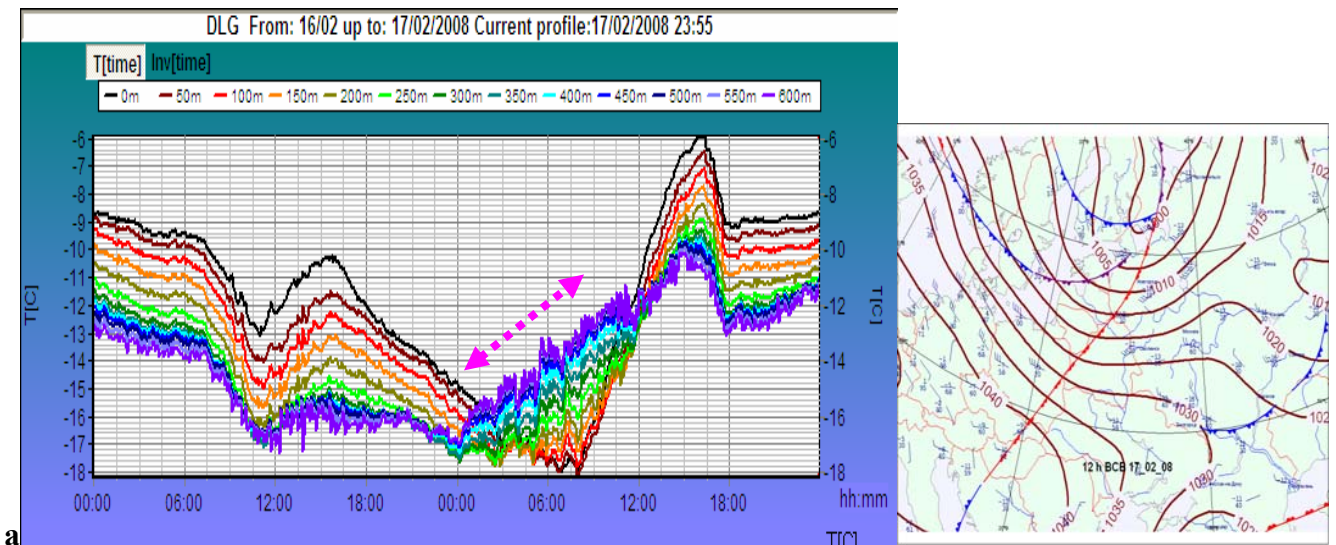


Рисунок 8 - Изменения температуры в зоне вторичного холодного фронта (выделено квадратом): а)-летом б)-весной.

Зона вторичного фронта выделяется слабой термической устойчивостью на фоне неустойчивой стратификации до его прохождения и за фронтом.

3.3 Теплый атмосферный фронт

Приближение зоны теплого фронта по данным МТП-5 обнаруживается в повышении температуры на верхних уровнях измерений МТП-5, которое не связано с дневным прогревом нижних слоев атмосферы. На рисунке 9 показаны изменения температуры в 600-метровом слое в эпизодах прохождения теплого фронта зимой и летом.



а

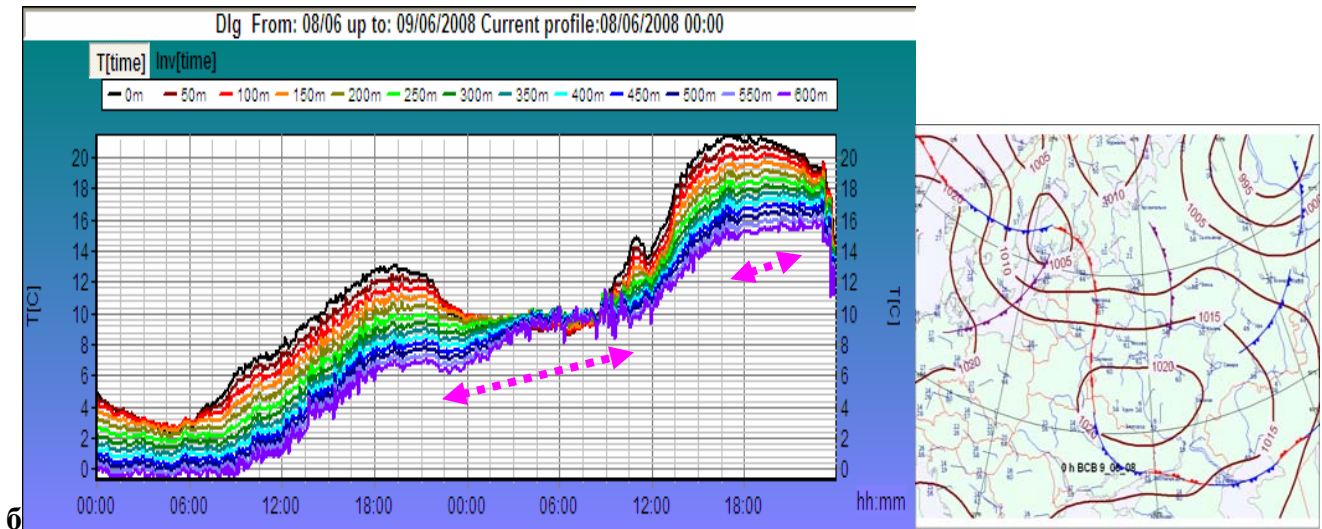
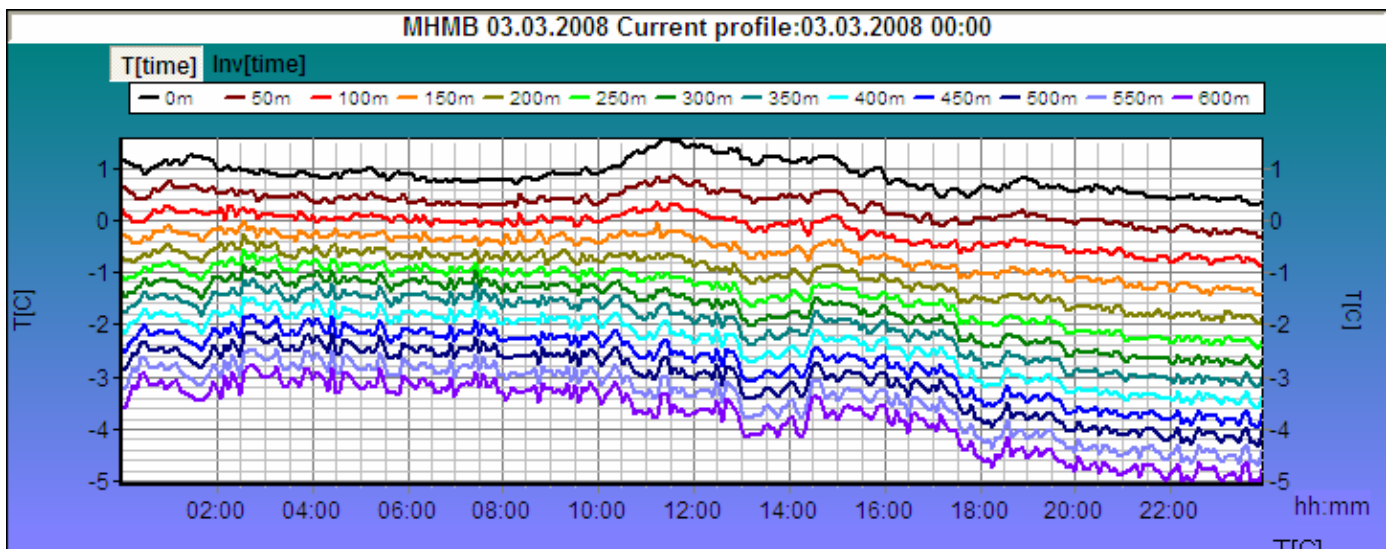


Рисунок 9 - Изменения температуры при прохождении теплого фронта (розовая стрелка).

а) Зимой теплый воздух в зоне фронта натекает на слой холодного приземного воздуха, в ночное время образуется смешанная инверсия температуры: после прохождения фронта у земли оказалось теплее, чем накануне перед фронтом на 4°C , а на высоте 600м – на 6°C . Б) Если летом теплый фронт проходит днем - температура в зоне фронта равно повышается на всех уровнях, если ночью- наблюдается опережающая в верхней части пограничного слоя адвекция тепла, но радиационно –адвективная инверсия по сравнению с зимней значительно слабее.

3.4 Отсутствие суточного хода температуры

Отсутствие суточного хода температуры свидетельствует об адвекции холодного воздуха, причем по данным приземной температуры в первые часы начала замены воздуха на более холодный не фиксируется. Отсутствие суточного хода температуры также может быть обусловлено дефицитом притока солнечной радиации из-за плотной облачности (рисунок 10).



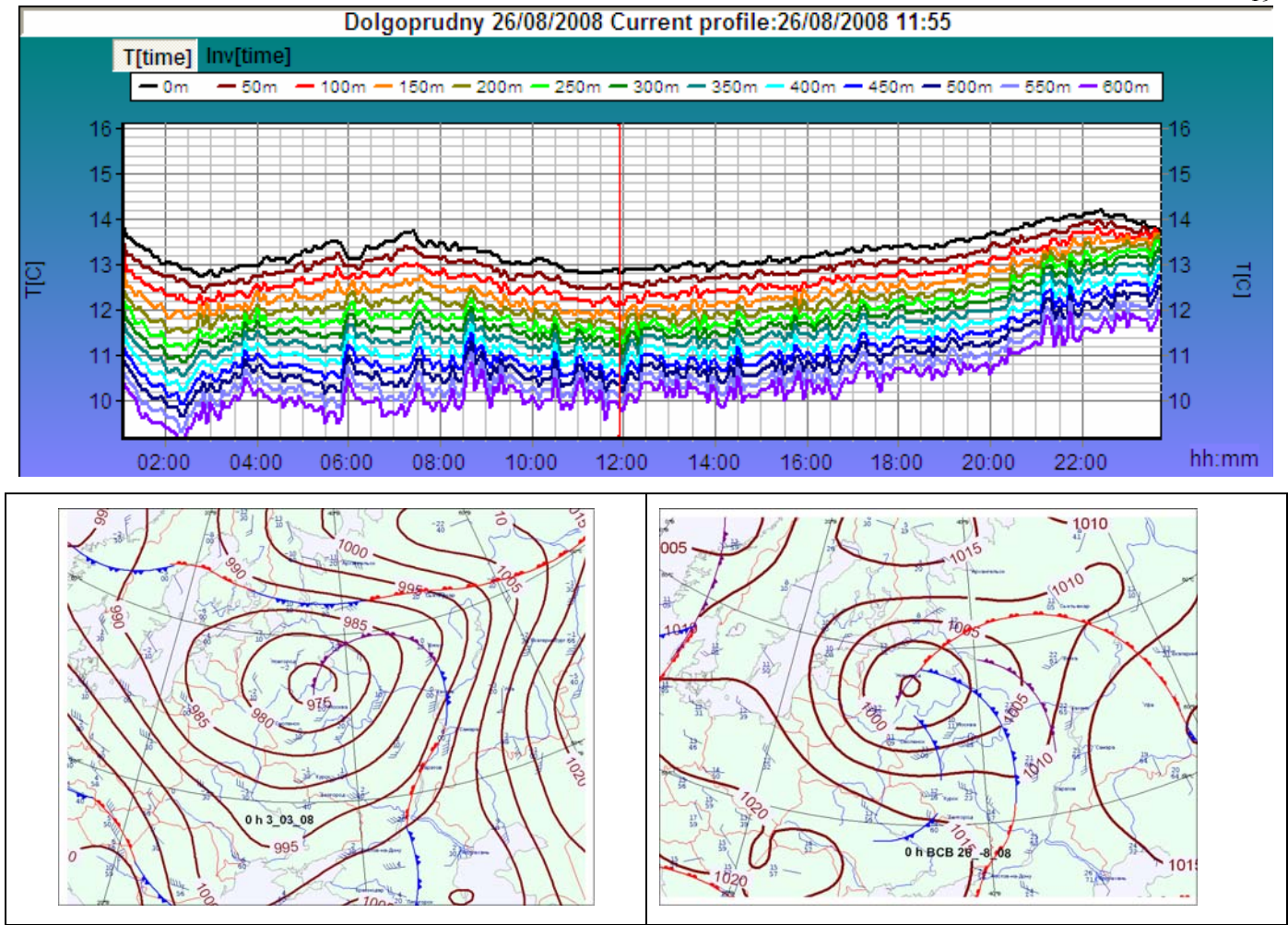


Рисунок 10 – Примеры отсутствия суточного хода температуры в теплый сезон. *Отсутствие суточного хода приземной температуры сопровождается понижением температуры на верхних уровнях измерений: с 4 до 12 ч температура на высоте 600 м понизилась на 3°C, а у земли практически не изменилась (верхний рисунок). На нижнем рисунке аномальный суточный ход температуры в условиях плотной облачности - в августе суточная амплитуда составила около 1°C. Скачки температуры на верхних уровнях указывают на конвективное перемешивание в подоблачном слое*

3.5 Адвекция воздушной массы

Адвекция воздушной массы всегда обусловлена крупномасштабными атмосферными процессами и означает приход воздушной массы с иными свойствами и газовым составом. Адвекция новой воздушной массы хорошо идентифицируется по данным МТП-5- сразу после прохождения атмосферного фронта, как правило, резко изменяется термическая структура атмосферы в слое измерений (рисунок 11).

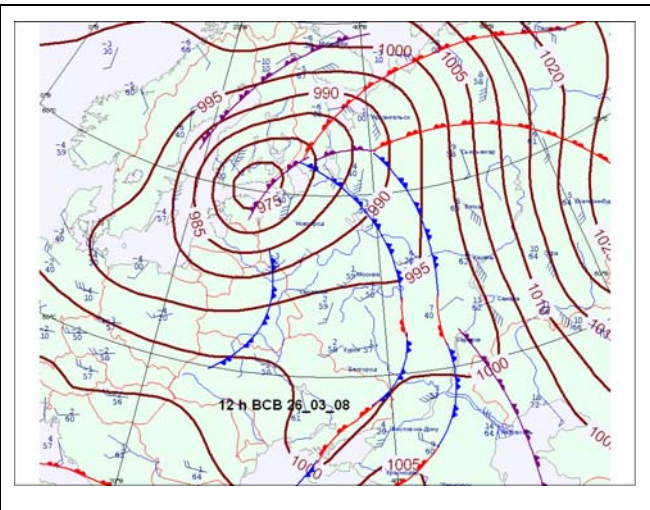
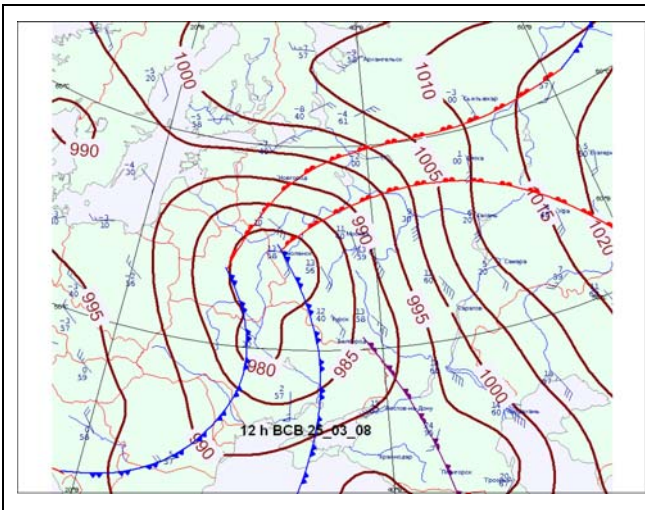
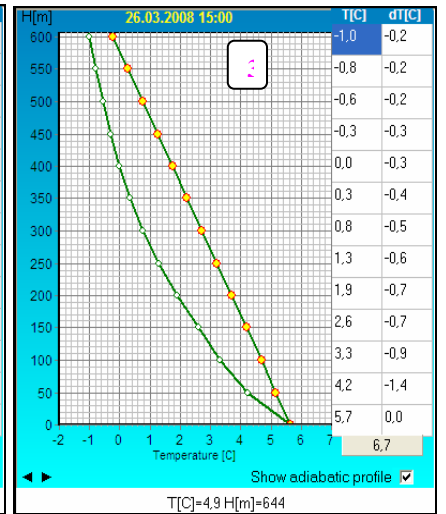
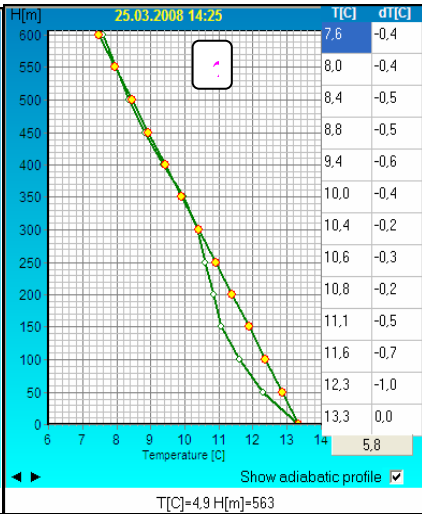
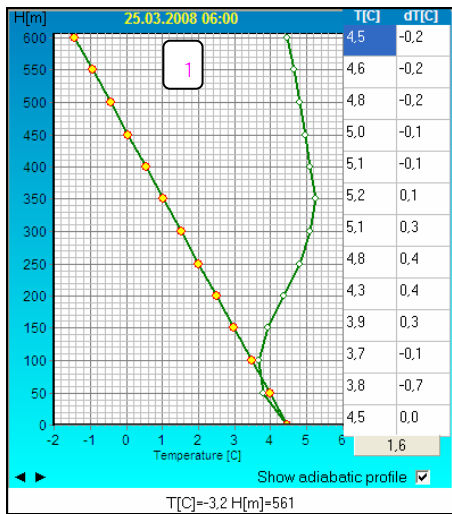
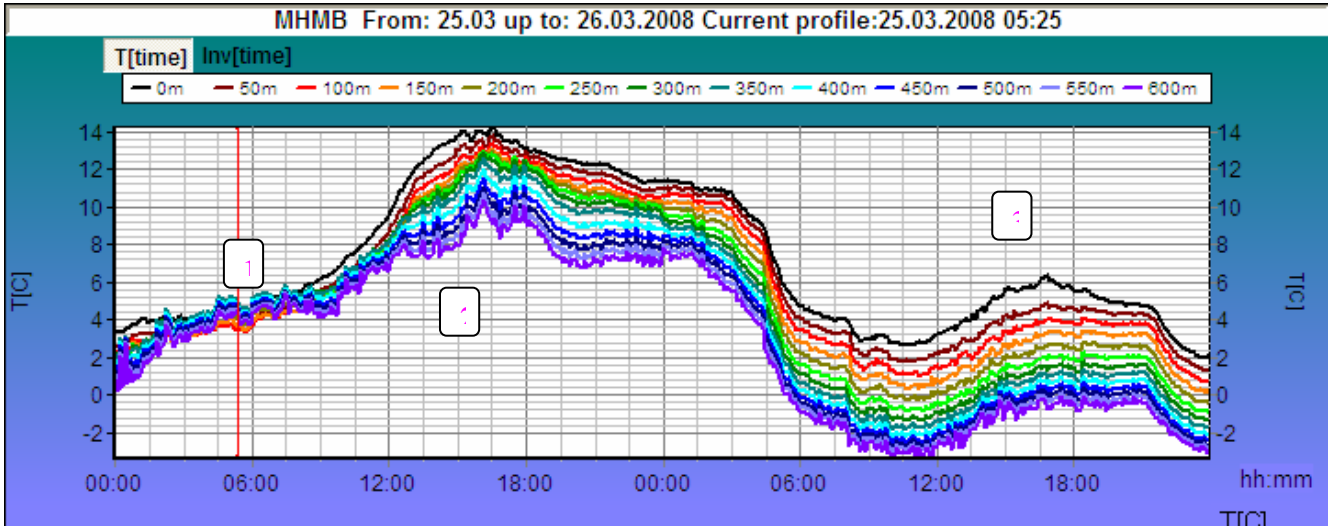


Рисунок 11 - Изменения термического состояния в эпизоде смены воздушных масс 1- потепление в зоне теплового фронта, 2- теплый сектор циклона, 3-термическая неустойчивость в тыловой части циклона и карты погоды в эпизоде

В некоторых случаях при стационарном атмосферном процессе - чаще всего в антициклоне или в теплом секторе циклона - смена воздушной массы происходит без явно выраженного фронта - не сопровождается увеличением облачности и выпадением осадков. Обнаружение таких явлений

с использованием обычных средств – карт погоды и барической топографии при редкой сети аэрологических наблюдений – задача не простая. Анализ данных МТП-5 помогает установить факт смены воздушной массы в таких случаях. Для этого рекомендуется провести сравнения температуры на верхних уровнях в синхронные сроки предыдущих суток. На рисунке 12 дается иллюстрация такой ситуации

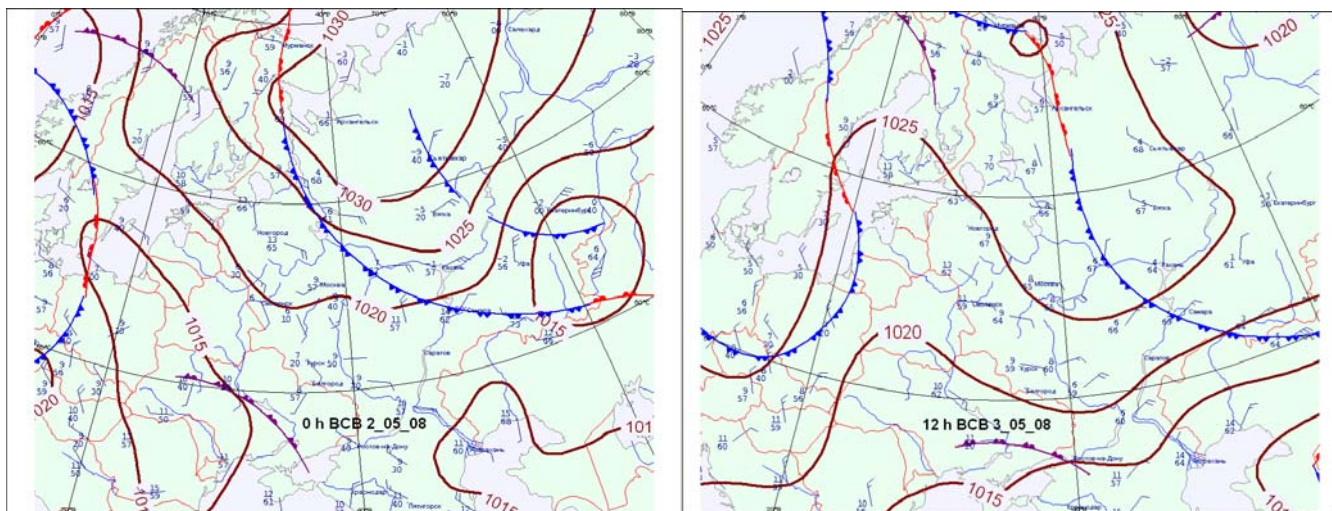
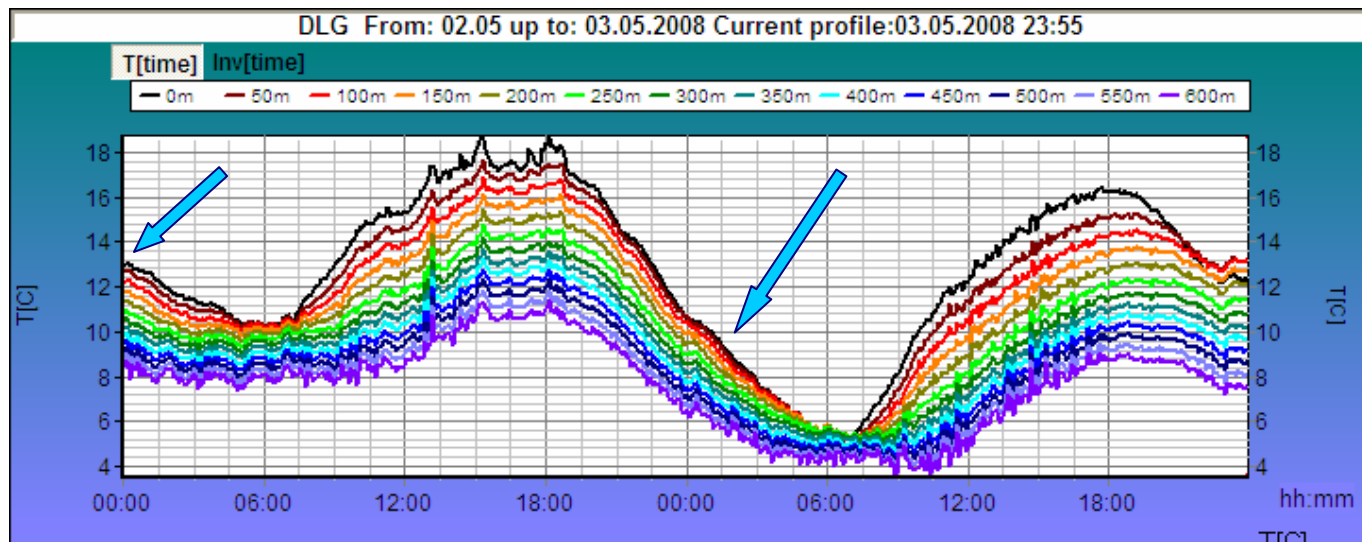


Рисунок 12 - Смена воздушной массы в стационарном антициклоне без обычных признаков прохождения атмосферного фронта (2-3 мая) и карты погоды в эпизоде. Уже в 00 ч 3 мая обозначилась признаки смены воздушной массы – температура во всем 600-метровом слое по сравнению с 0 ч 2 мая понизилась на 2°C, а к 6 ч – на верхних уровнях измерений стало на 3 °C холоднее, чем в этот же час накануне. (Заметим, максимальная приземная температура оказалась тоже на 3 ниже предыдущих суток).

Идентификация смены воздушной массы – важный этап диагностики метеорологических условий загрязнения и описания синоптического предиктора. В одном и том же антициклоне следует отличать термически различные воздушные массы, их смена приводит к смене и

обновлению газового состава в нижних слоях атмосферы. Очевидно, синоптический предиктор должен содержать адвективную составляющую.

3.6 Переменная облачность и внутримассовые осадки

По данным МТП-5 можно наблюдать «гладкий» и «зубчатый» вид термограмм в приземном слое атмосферы. Последний отражает резкие изменения в притоке солнечной радиации как вследствие его ослабления облаками. На рисунке 13 приводится пример типичного хода температуры в условиях переменной облачности.

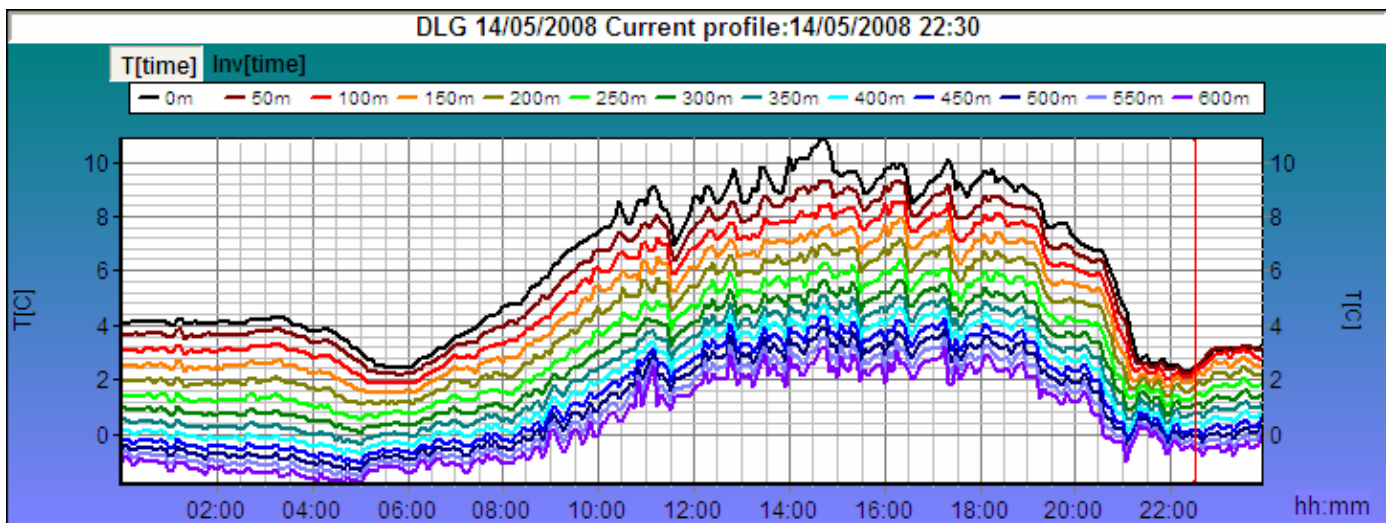


Рисунок 13 - Изменения температуры при переменной облачности в теплый сезон.

Летние кратковременные дожди сопровождаются резким изменением термической структуры в нижних слоях атмосферы - из-за интенсивного конвективного перемешивания пограничный слой становится термически квазиоднородным. По окончании конвективных осадков, как правило, восстанавливается характерная для времени суток термическая стратификация (рисунок 14).

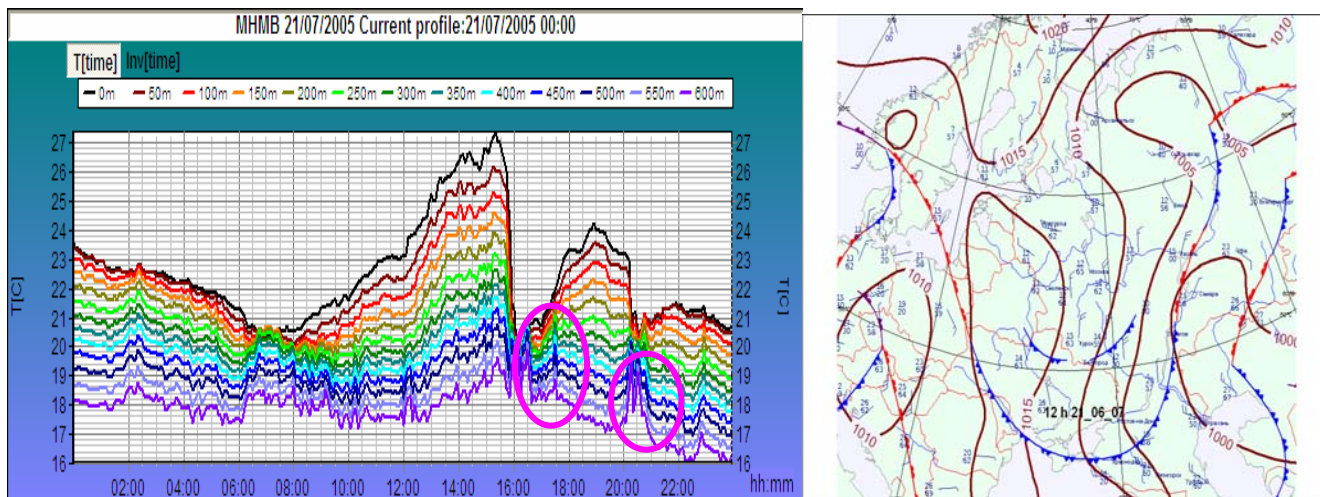


Рисунок 14 - Изменения термической структуры во время дождя (розовые контуры) и карта погоды в эпизоде. Дожди выпадали около 16 ч и около 20 ч. В промежутке между дождями быстро восстанавливалась термическая структура в нижнем атмосферном слое – формировались вертикальные градиенты температуры, превышающие сухоадиабатический градиент.

При слабом дожде (с ограниченным вымыванием примесей) может наблюдаться кратковременное увеличение концентраций загрязняющих примесей, как следствие увеличения термической устойчивости и рассеивания в приземном слое.

4. Инверсия температуры

4.1 Радиационная (приземная) инверсия температуры образуется в результате выхолаживания подстилающей поверхности в основном при слабом ветре в малоградиентном барическом поле или в антициклоне. Радиационная инверсия в незагрязненном воздухе образуется на закате солнца и разрушается через 1-2 часа после восхода. На рисунке 15 показаны изменения температуры в течение двух суток с ночными радиационными инверсиями

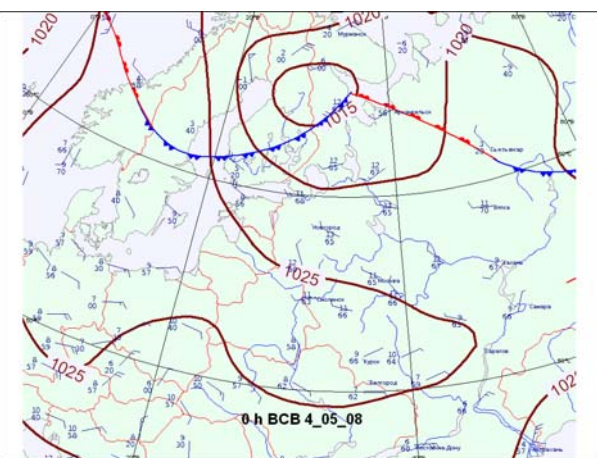
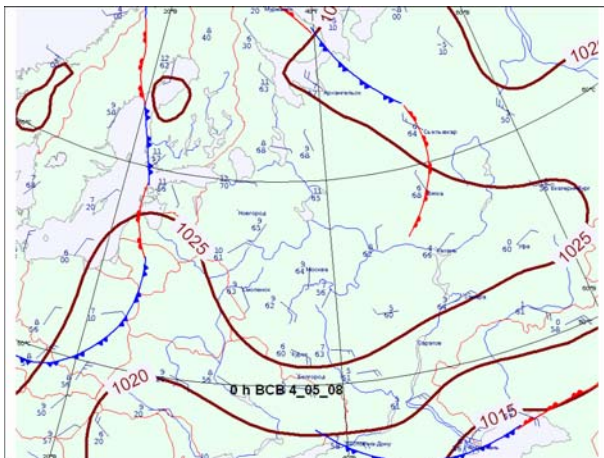
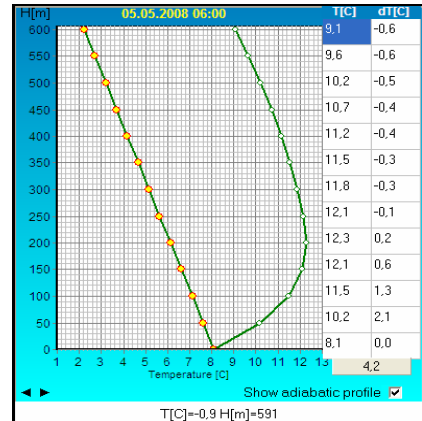
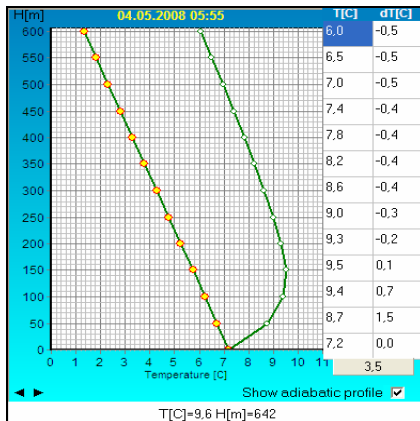
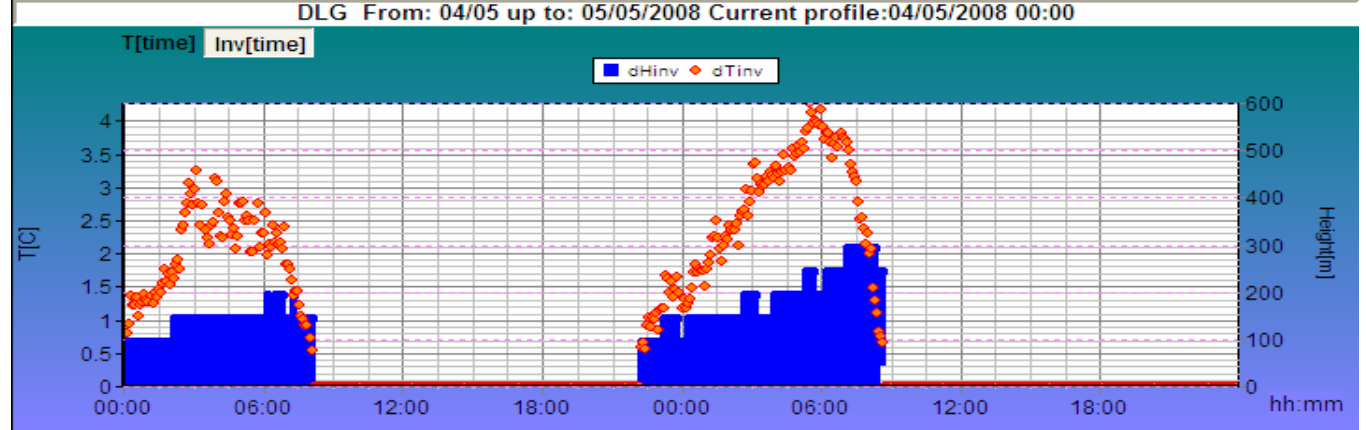
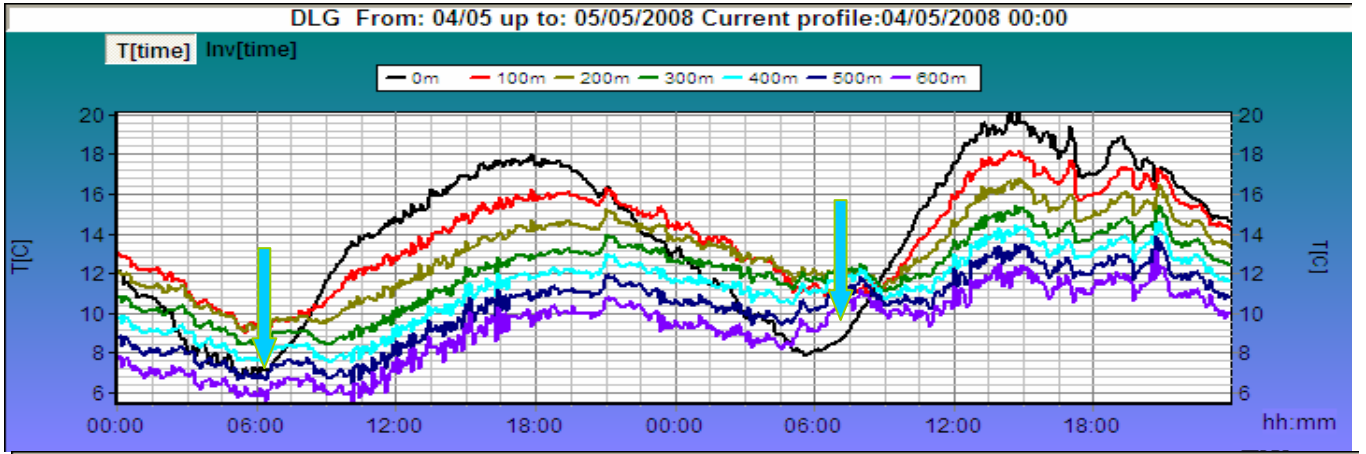


Рисунок 15 - Радиационная инверсия температуры; отраженная в данных МТП-5: сверху - в поле термограмм, в середине- визуализированные характеристики инверсий (красная линия- величина, синяя заливка - слой инверсии), внизу- профили температуры при максимальном развитии инверсии и карты погоды в эпизоде

При стационарном атмосферном процессе (отсутствуют возмущающие факторы) инверсия усиливается от ночи к ночи - увеличивается ее величина и повышается верхняя граница, (рисунок 16)

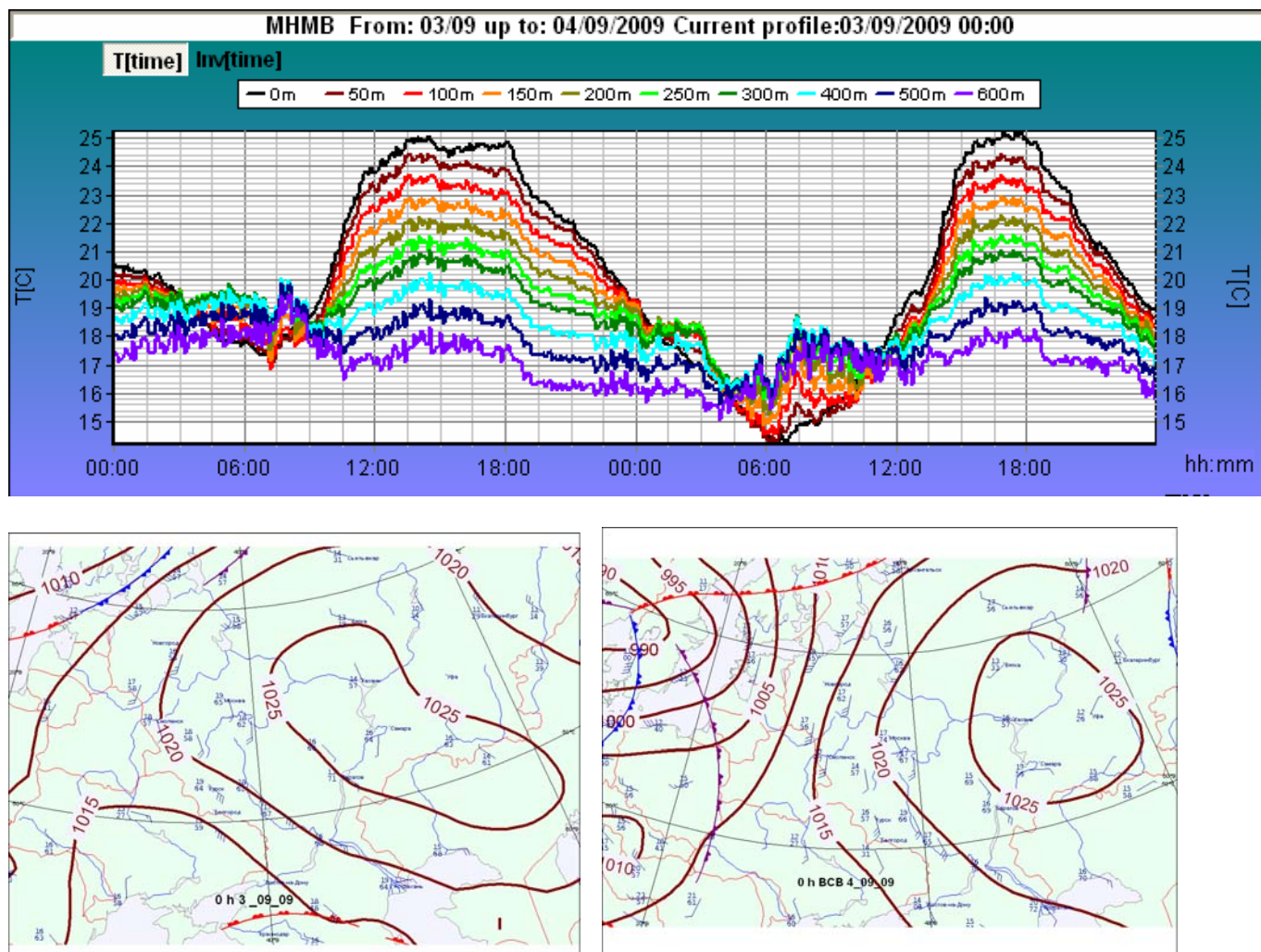


Рисунок 16 -Усиление радиационной инверсии в антициклоне.

4.2 Приподнятая инверсия температуры. Городская инверсия.

В теплый сезон с восходом солнца, благодаря турбулентным вихрям, радиационная инверсия разрушается, преобразуясь в приподнятую. Этот процесс длится 1-2 часа. Зимой приподнятая инверсия может наблюдаться длительное время - от нескольких часов до нескольких суток, не разрушаясь даже в светлое время суток.

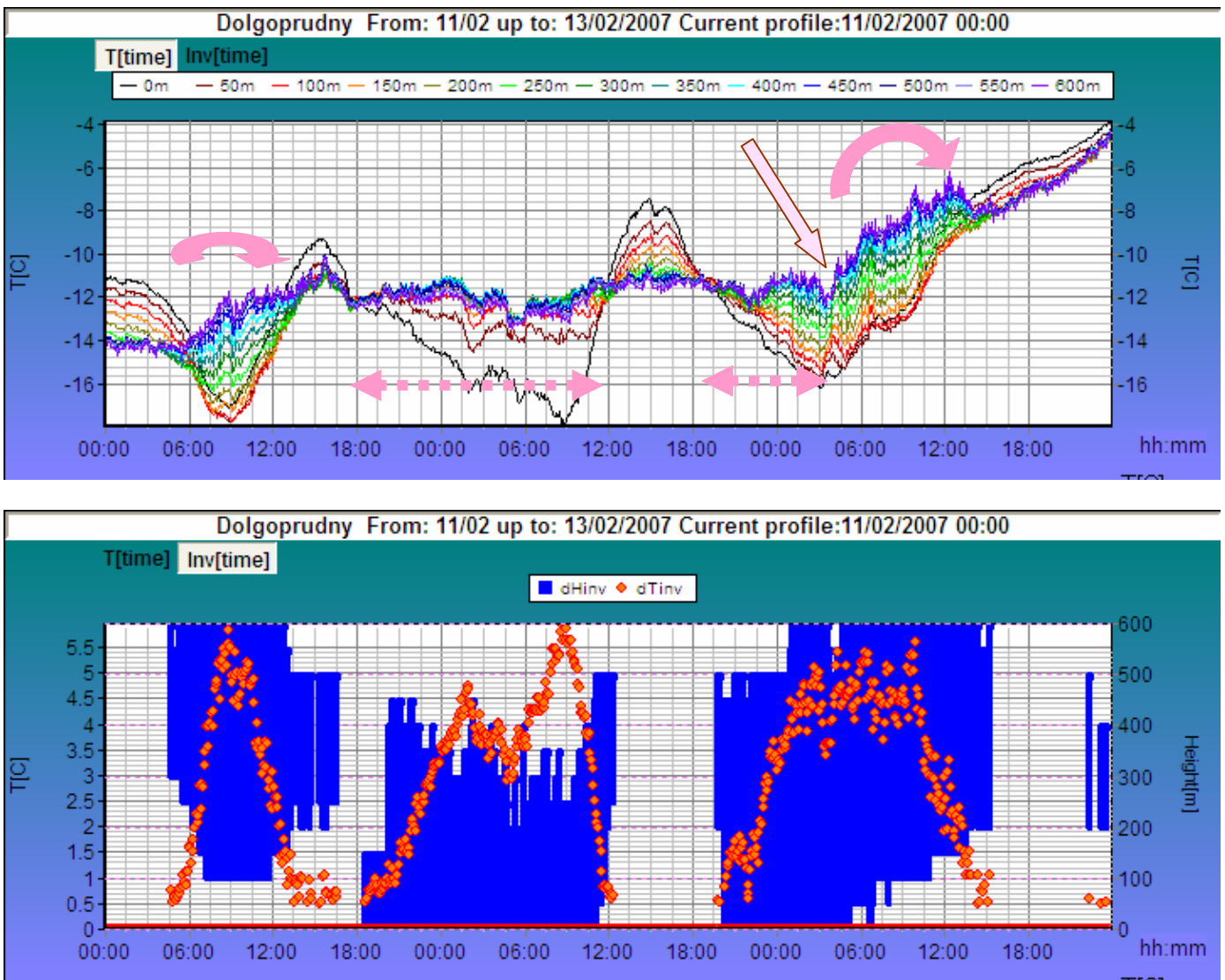
Приподнятая температурная инверсия образуется:

- в зоне теплого фронта при натекании теплого воздуха – «фронтальная инверсия» ;

- при наличии струеобразного потока в пограничном слое с максимумом скорости менее 10 м/с или низкотропосферного струйного течения («мезоструи», с максимумом скорости более 12-15 м/с);

- при тепловом воздействии большого города на радиационные процессы. Под влиянием антропогенного тепла поверхность эффективного излучения приподнимается над конвективно-неустойчивым приземным городским слоем, «городская» инверсия.

На рисунке 17 приводится пример временного изменения температуры в нижнем 600-метровом слое в течение 3-х суток в эпизоде образования инверсий трех типов.



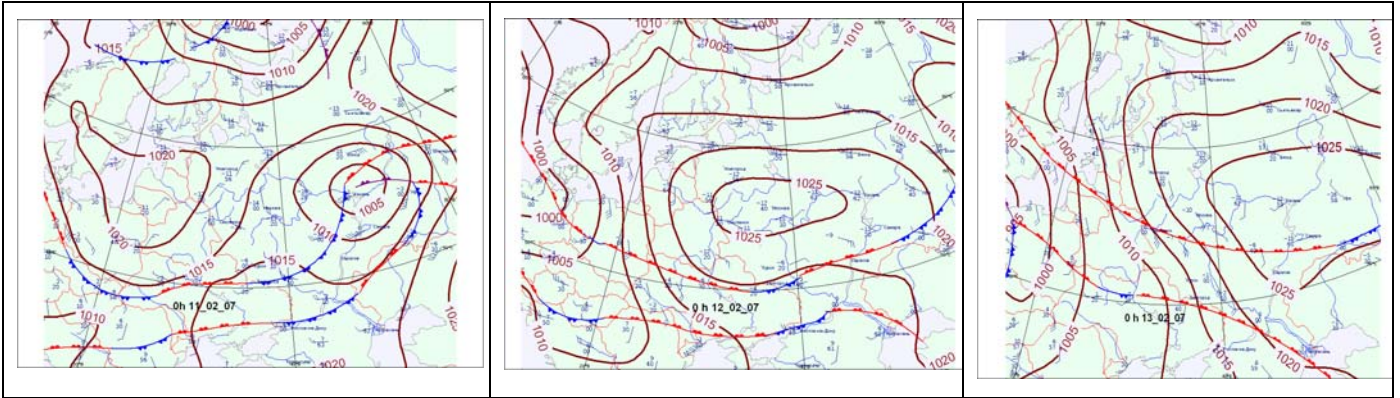
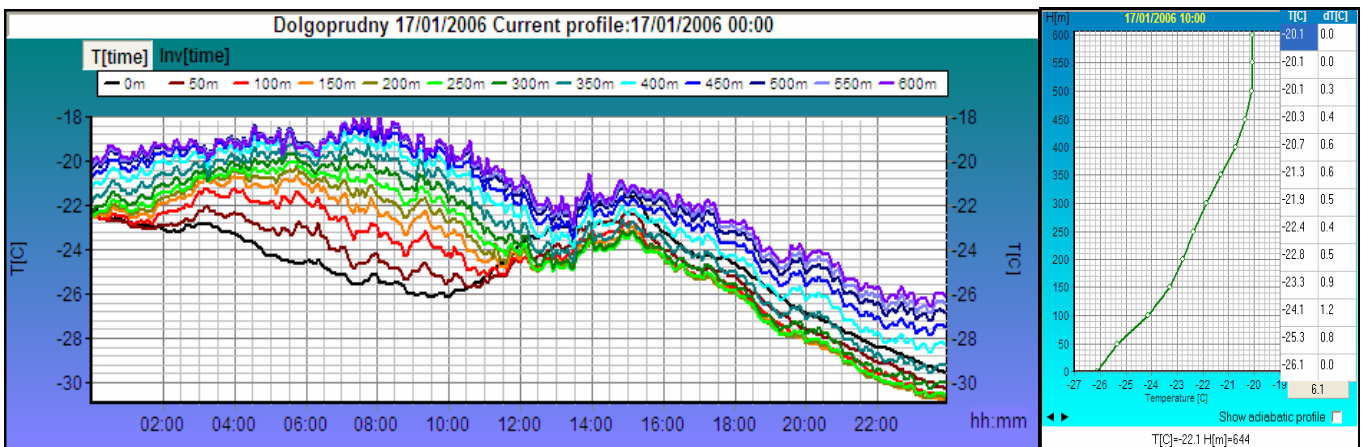


Рисунок 17 - Адвективная, радиационная и смешанная инверсия температуры в поле температуры (верхний рисунок) и параметрах инверсии (средний рисунок- красная линия- величина инверсии, синяя заливка- инверсионный слой). В начале эпизода (11.02) ночью имела место адвективная инверсия с турбулентными пульсациями в верхней части слоя измерений (круглая стрелка). В следующую ночь в термически однородной воздушной массе сложились благоприятные условия для выхолаживания подстилающей поверхности и образования приземной инверсии, которая разрушилась около 11 ч утра (12.02). Вечером того дня еще сохранялись благоприятные для выхолаживания условия и около 19 ч начала формироваться радиационная инверсия температуры. Примерно в 4 утра (13.02) подошла новая порция теплого воздуха, началось повышение приземной температуры, длившееся до конца суток; адвективная инверсия разрушилась в 13 ч.

Одной из причин образования приподнятой «городской» инверсии являются прямые выбросы тепла в большом городе. Насколько сильно влияние этого фактора можно судить по приведенным на рисунке 18 данным измерений МТП-5 в центре Москвы и в ближнем пригороде (приводится эпизод сильных морозов).



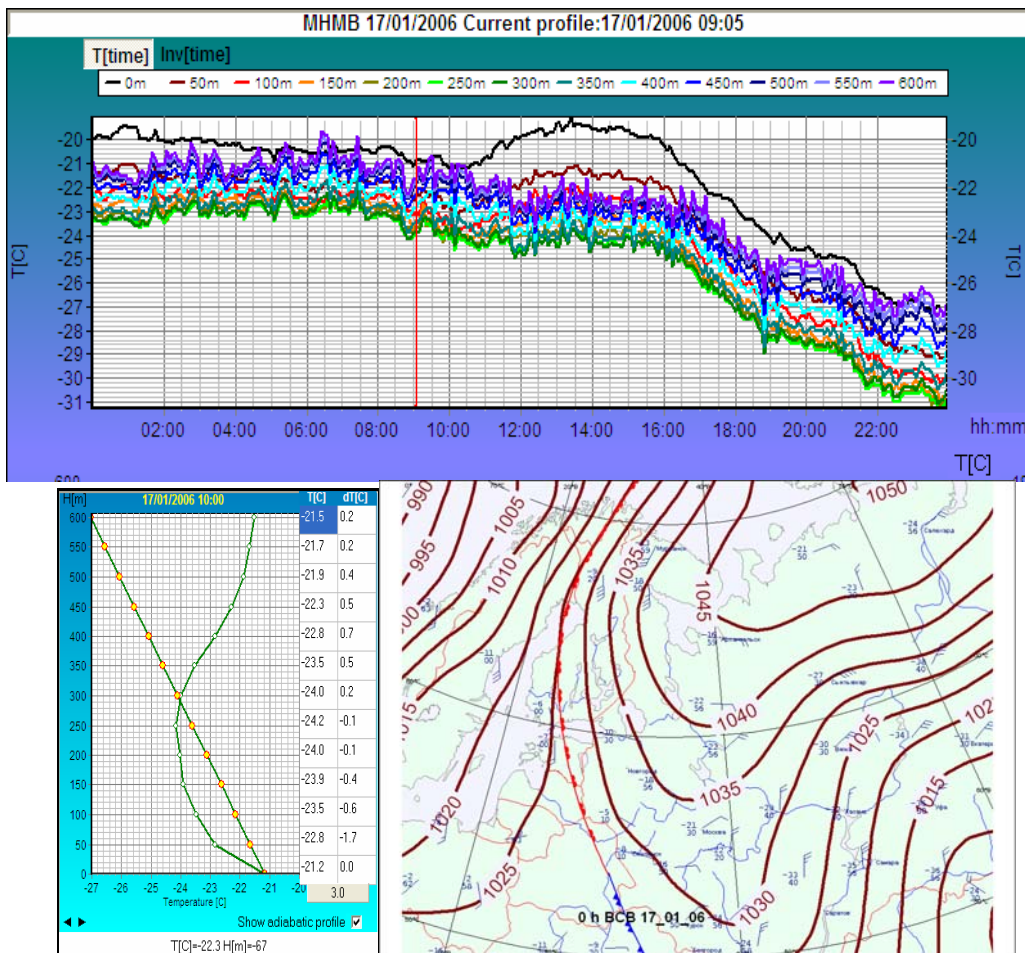


Рисунок 18 – Синхронные изменения температуры в нижнем 600 метровом слое в северном пригороде Москвы (г.Долгопрудный, верхний рисунок) и в центре Москвы (Красная Пресня, внизу). Ночью за городом сформировалась приземная инверсия с максимальной величиной $5-6^{\circ}\text{C}$ (профиль сверху). В центре Москвы всю ночь сохранялись благоприятные условия для конвективного перемешивания, здесь нижняя граница инверсии находилась на высоте 300 м(профиль внизу), а величина инверсии в слое измерений составила примерно 3°C . Столь сильно различающая на расстоянии 20 км термическая структура нижнего слоя атмосферы является следствием теплового воздействия московского мегаполиса.

Для практических задач рекомендуется провести наблюдения за стратификацией температуры по данным МТП-5 и данным ближнего пункта радиозондирования, при этом следует иметь в виду, что если в отопительный сезон фактором антропогенного теплового воздействия являются прямые потери городского тепла, то в теплый период большой вклад в нарушение термической структуры в городе вносит аккумулируемое днем тепло застройки и дорожных покрытий.

4.3 Адвективная инверсия температуры.

Адвективная инверсия – частный случай фронтальной инверсии. Всегда сопровождается натеканием теплого воздуха на более холодный воздух и указывает на смену воздушных масс (рисунок 19). В теплый сезон адвекцию тепла выше пограничного слоя явно можно идентифицировать только в ночное время, днем из-за конвективного перемешивания она может маскироваться суточным ходом температуры.

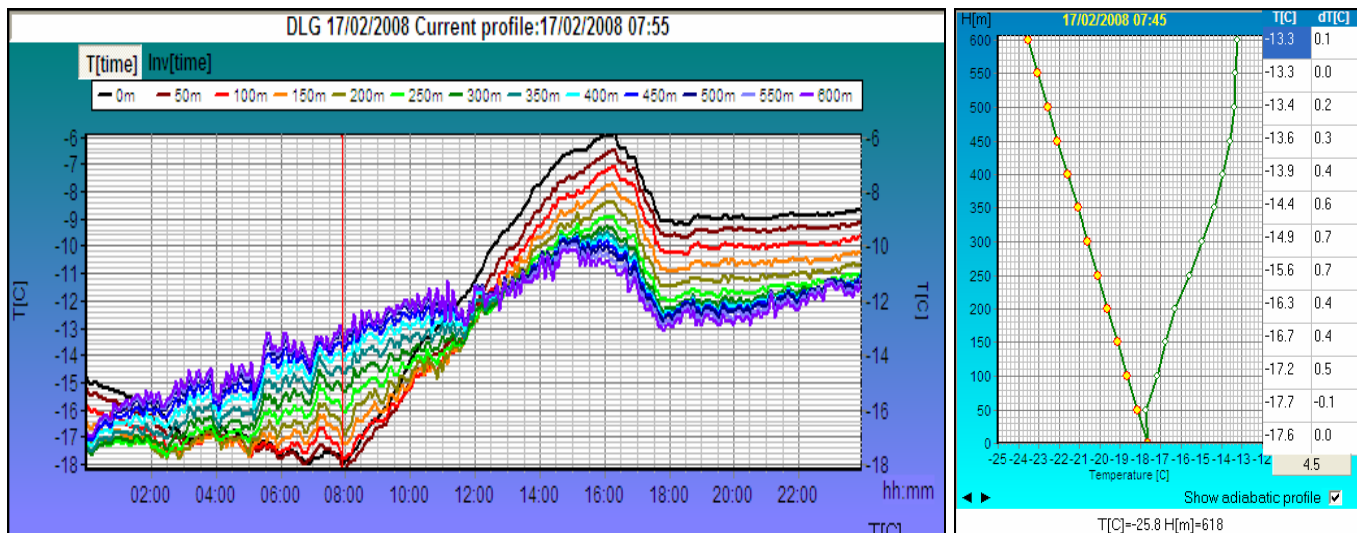


Рисунок 19 – Фронтальная (адвективная) инверсия теплого фронта (Карта рис.9). При понижении приземной температуры ночью на высоте 600 м температура растет: с 0 до 8 ч у земли похолодало на 3°C, в верхней части слоя измерений потеплело на 4°C и в последующие 10 ч температура на высоте 600 м продолжала расти.

Влияние такой инверсии на содержание примесей в приземном слое многообразно и зависит от скорости переноса, от времени суток и сезона, от величины адвекции, параметров инверсии и т.д.. Но, очевидно, что влияние фронтальной (адвективной) инверсии на уровень загрязнения как негативного фактора в основном кратковременно.

На рисунке 20 приводится редкий пример дневного образования приподнятой инверсии. В данном примере синоптическая ситуация определялась теплым сектором при смене западной периферии антициклона на переднюю часть циклона, днем над Москвой происходила миграция струйного течения нижних уровней (СТНУ). Данные МТП-5 зафиксировали температурные изменения в ПСА при прохождении теплой восходящей ветви (10-14 ч) СТНУ и холодной ветви (с 14 ч до 19 ч). При том, что скачки температуры в слое 400 -600 м достигали 5-8 градусов, у земли практически не было признаков происходящих выше процессов интенсивного перемешивания. Описанная инверсия также не является негативным фактором для загрязнения приземного воздуха. Однако в периоды засухи в таких ситуациях может переноситься на большие

расстояния запыленный воздух из степных и пустынных регионов, так же как и в эпизодах обширных лесо-степных пожаров.

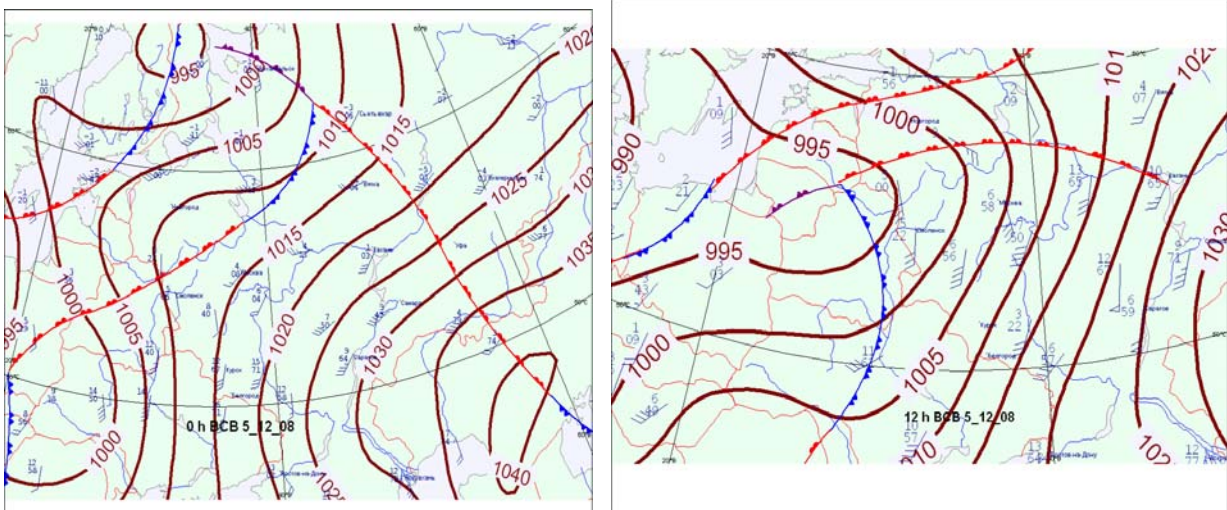
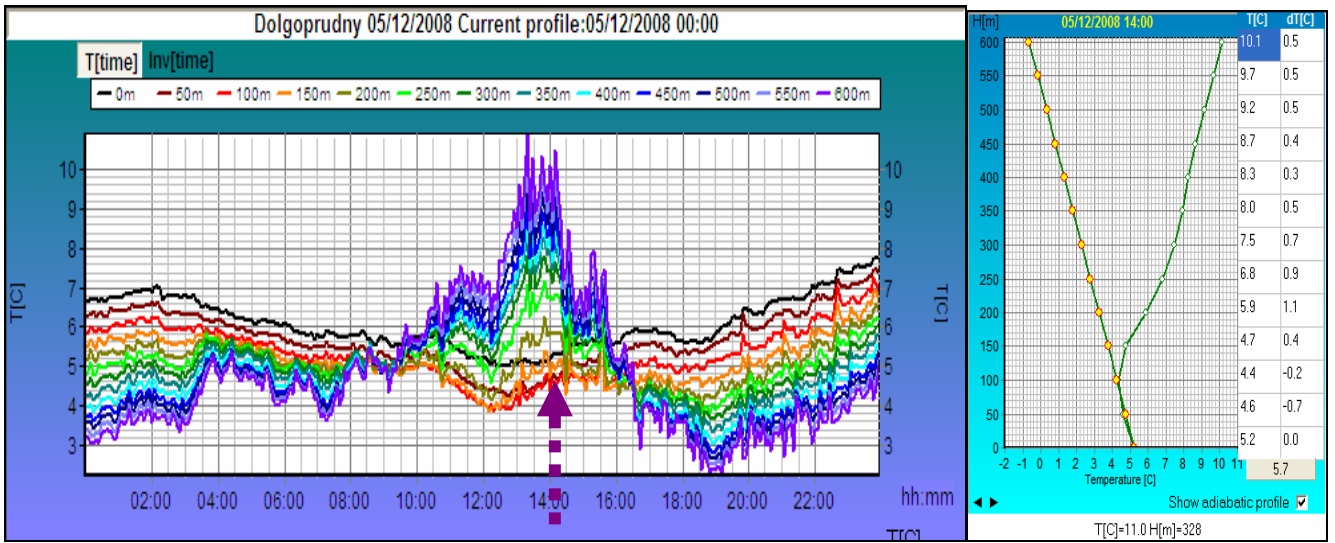


Рисунок 20 – Приподнятая инверсия в мезоструйном течении нижних уровней фронта окклюзии в теплом секторе циклона. Справа – аномальный дневной профиль температуры (инверсия в 14 ч).

4.4 Инверсия оседания.

Такая инверсия возникает вследствие адиабатического нагрева слоя при упорядоченных нисходящих движениях в антициклоне. Обычно инверсия оседания образуется на высотах 1-2 км. В случаях активной фазы антициклона эффект нисходящих токов можно наблюдать и в нижнем 600-метровом слое в усилении радиационной инверсии (рисунок 21)

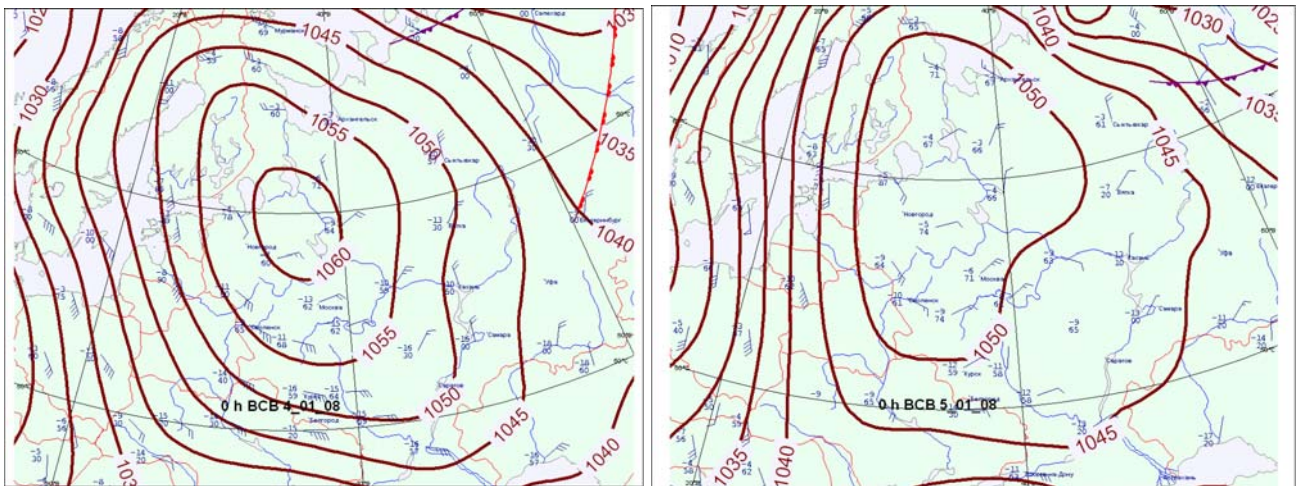
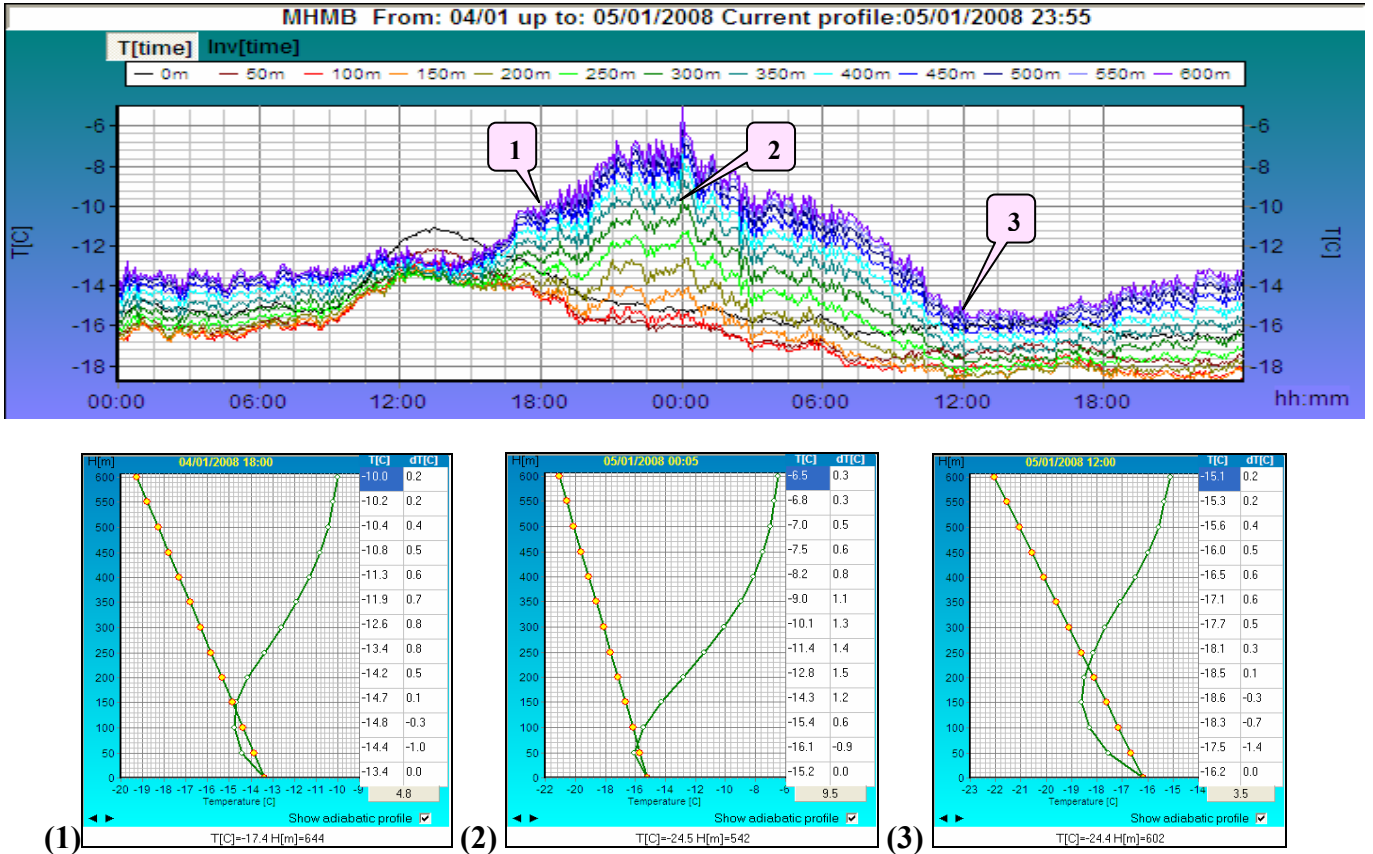


Рисунок 21 - Усиление инверсии за счет нисходящих упорядоченных движений в антициклоне.

4.5 Инверсия испарения.

В городских условиях инверсию испарения можно наблюдать в теплое время года после сильных дождей в послеполуденное время. На рисунке 22 иллюстрируется такой эпизод.

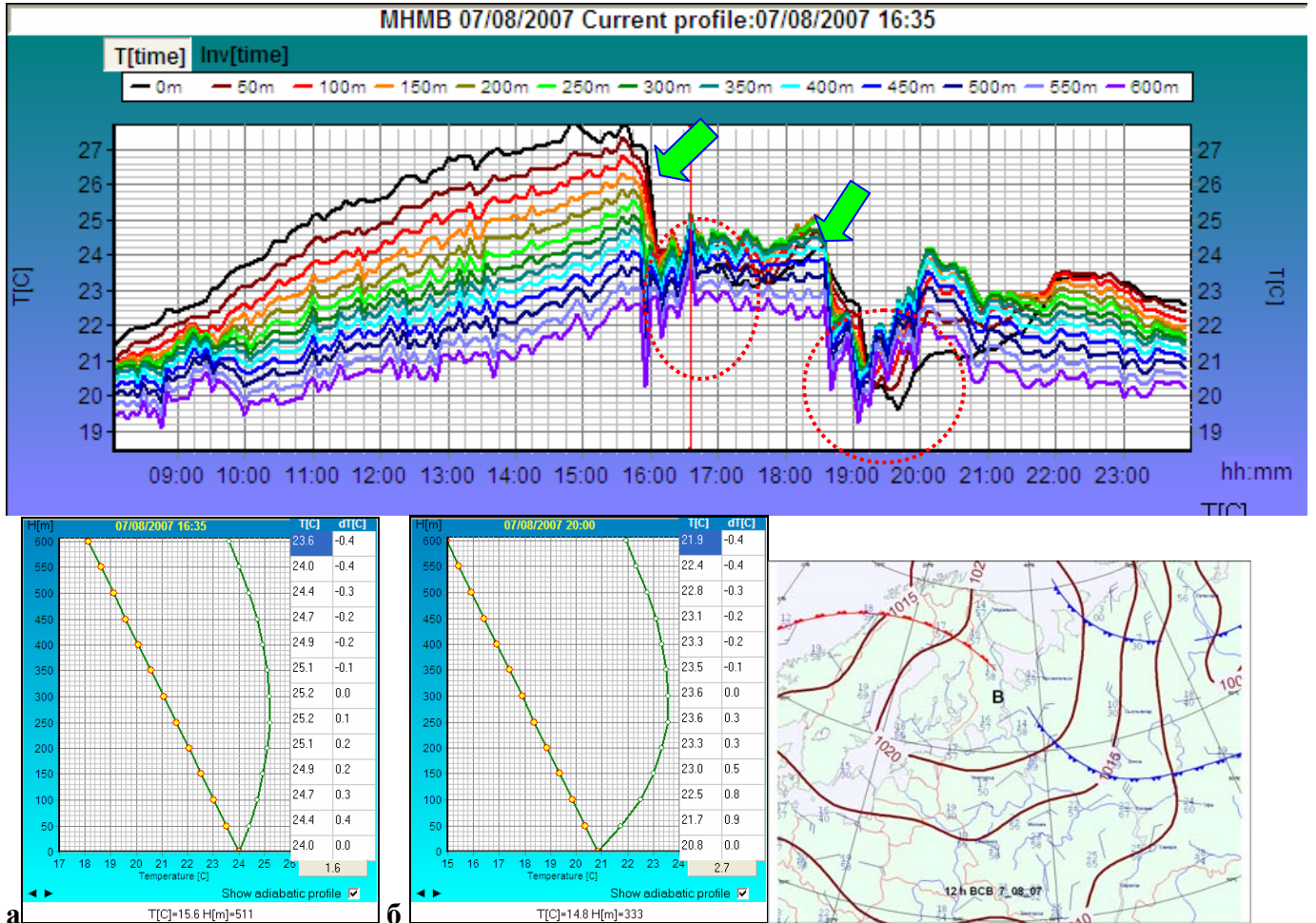


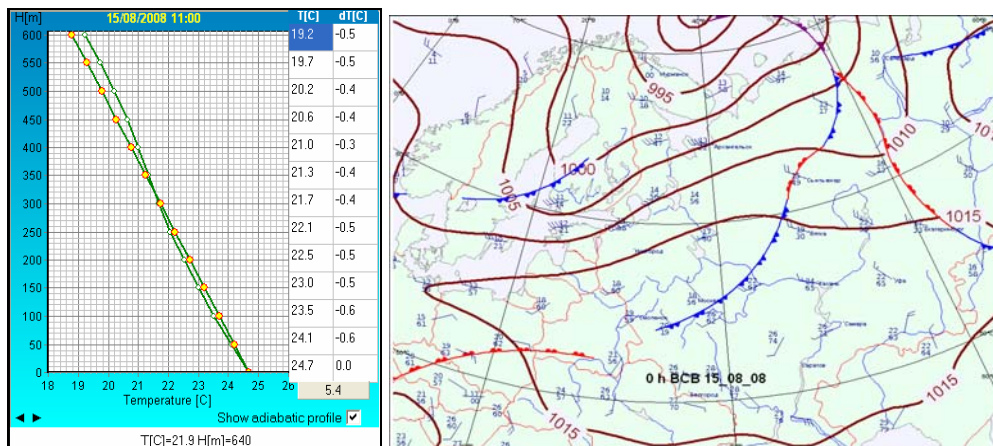
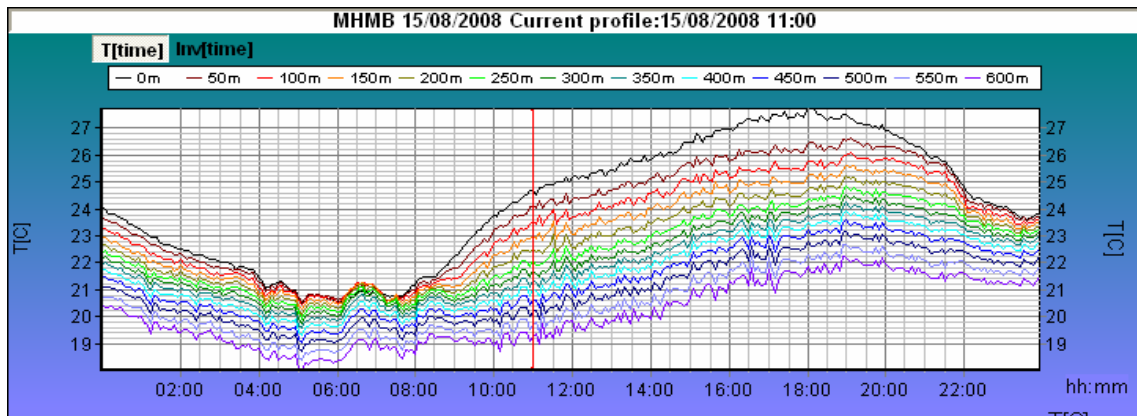
Рисунок 22 -Инверсия испарения (на верхнем рисунке красный контур) после дневного ливневого дождя 7 августа. Внизу – инверсия температуры а) в 16:35 ч и б) в 20 ч. На верхнем рисунке видны два фрагмента с характерными для периода конвективных осадков скачками температуры (начало ливней показано зелеными стрелками). Во время первого ливня продолжительностью менее 1 ч на высоте 600 м температура в течение 10 минут менялась почти на 3 градуса, указывая на интенсивное вертикальное перемешивание. После первого дождя образовалась приземная инверсия вследствие охлаждения поверхности из-за испарения, ее величина приближалась к 2°С, она продержалась почти 2 часа в нехарактерное дневное время. После второго дождя инверсия испарения продержалась с 19:30 до 22 часов; усиленная естественным процессом выхолаживания, вечерняя инверсия оказалась мощнее дневной.

4.6 Инверсии аэрозольного нагревания

Данные МТП-5 позволяют обнаруживать явления, обусловленные влиянием загрязнений на термические процессы в нижних слоях атмосферы. Увеличение парниковых газов и мелкодисперсного аэрозоля способствует нагреванию содержащих их слоев в нижней тропосфере. Различаются два типа загрязнения низкотропосферных слоев: адвективное и локальное.

Адвективное загрязнение связано с переносом аэрозоля и газов на дальние расстояния из районов природных пожаров (лесных, степных, торфяных и сухопалов) при благоприятных для переноса условиях (периферия антициклона с нисходящими упорядоченными потоками, термическая инверсия, отсутствие осадков, мезоструйное течение нижнего уровня и т.д.).

Местное (локальное) загрязнение формируется преимущественно городскими выбросами при благоприятных для накопления примесей метеорологических условиях (НМУ). На рисунке 23 сравниваются два случая – изменения температуры в нижнем 600-метровом слое в обычных условиях (вверху) и при НМУ, сопровождавшихся мощной радиационной инверсией температуры (внизу).



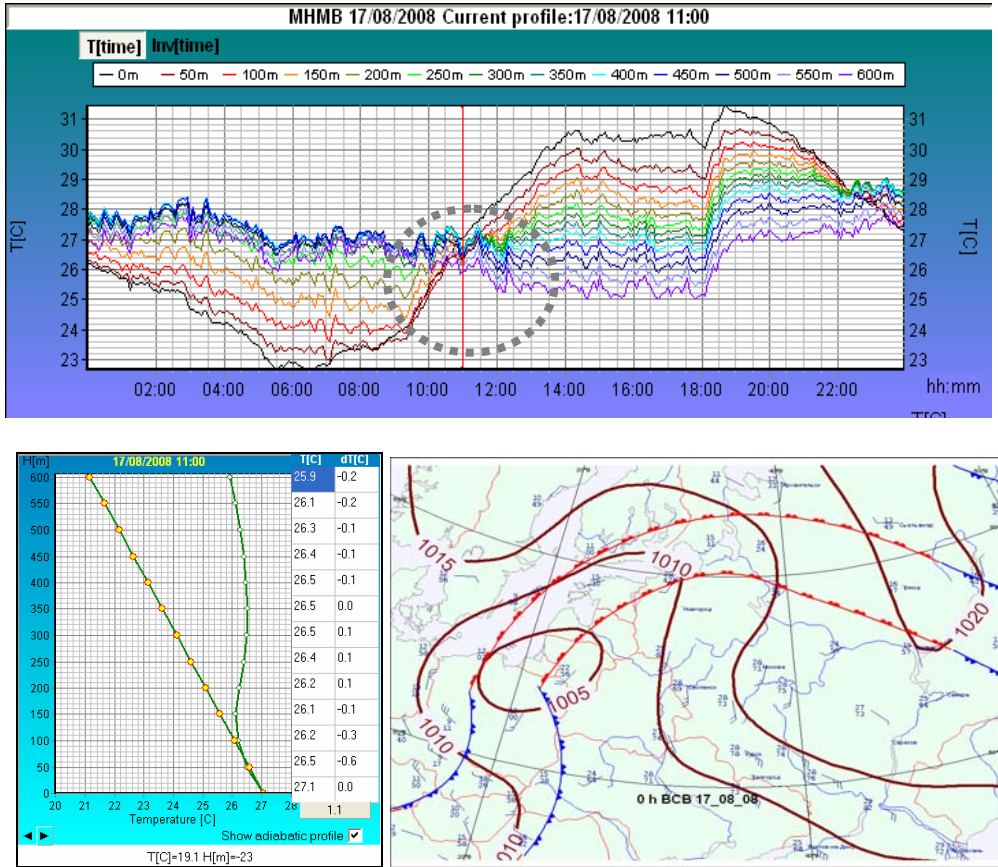
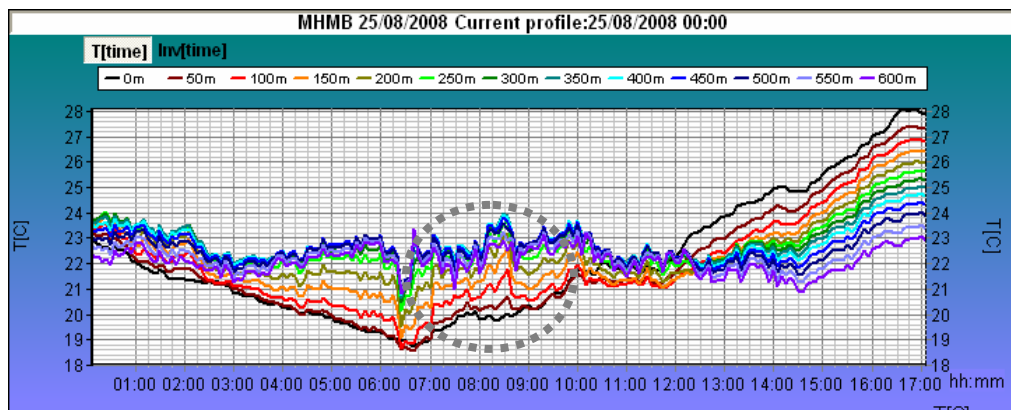


Рисунок 23 - В условиях обычно интенсивного утреннего перемешивания к 11 ч стратификация температуры приближается к сухой адиабате (верх). При НМУ(нижний рисунок) в утренние часы загрязняющие примеси накапливаются в нижней атмосфере и активно поглощают солнечную радиацию, что приводит к нагреву внутренних слоев пограничного слоя, следовательно, к аномальной для утреннего времени термической устойчивости.

На рисунке 24 приводится пример ситуации с идентифицированным на московской сети наблюдений за загрязнением поступлением загрязненного воздуха из удаленных районов черноземных областей.



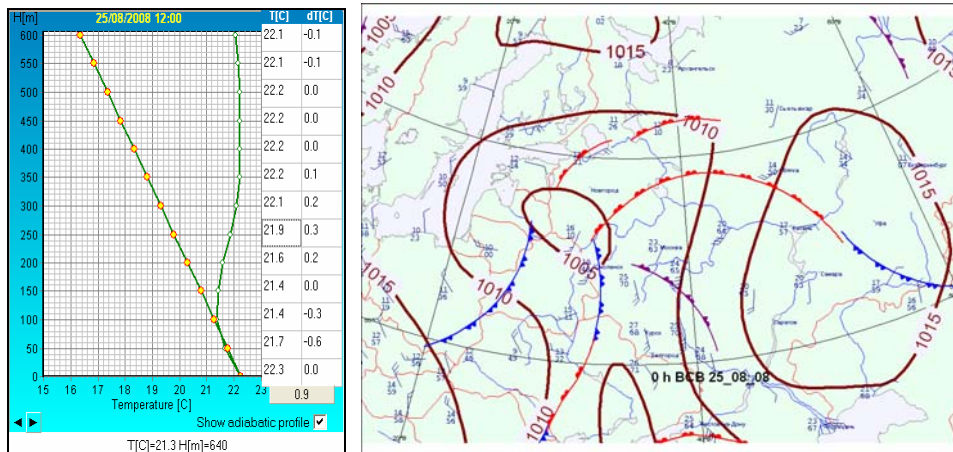


Рисунок 24 – Аномальный суточный ход температурной стратификации (серый контур) при адвекции загрязненного продуктами лесостепных пожаров воздуха в теплом секторе циклона. Август 2008 г. Справа показан аномально устойчивый профиль температуры в 12 ч как следствие нагревания слоя выше приземного содержащимися в нем примесями в первую очередь адвективного происхождения. На турбулентное перемешивание в верхней части ночного инверсионного слоя указывают резкие скачки температуры.

Выявление эпизодов прихода загрязненного в других районах воздуха по аномалиям внутрисуточных изменений температуры в слое измерений МТП-5 является важной с точки зрения понимания причин повышения уровня загрязнения в городе и, соответственно, принятия последующих решений.

5. Идентификация термических условий образования гололеда

Это опасное явление погоды связано с адвекцией теплого воздуха в период перехода к минусовой температуре. При дефиците информации о термическом состоянии нижних слоев атмосферы данные МТП-5 позволяют заблаговременно оценивать и контролировать процесс натекания воздуха с положительной температурой на приземный слой с отрицательной температурой, а также оценивать фазу осадков - жидкая, смешанная, твердая.

На рисунке 25 приводится эпизод термического состояния нижнего 600-метрового слоя с фрагментами благоприятных для образования гололеда условиями.

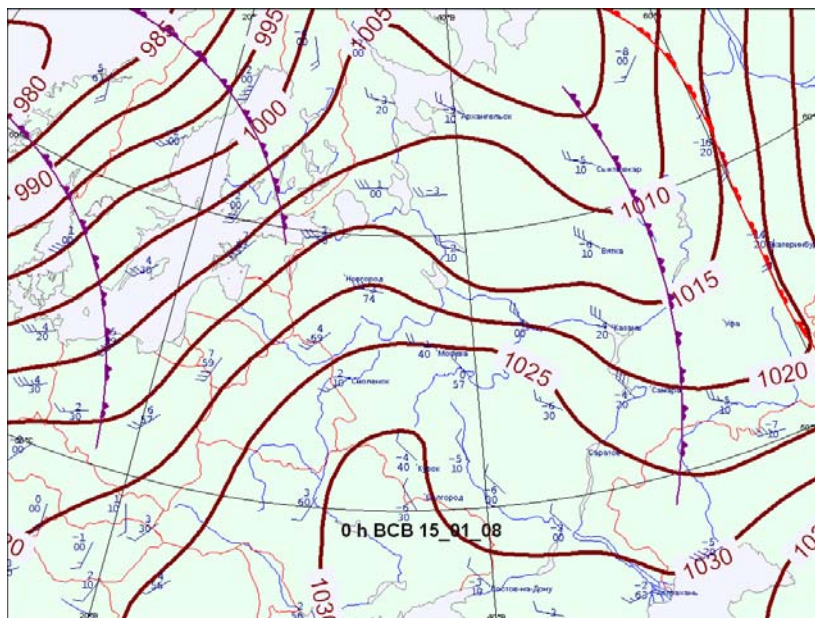
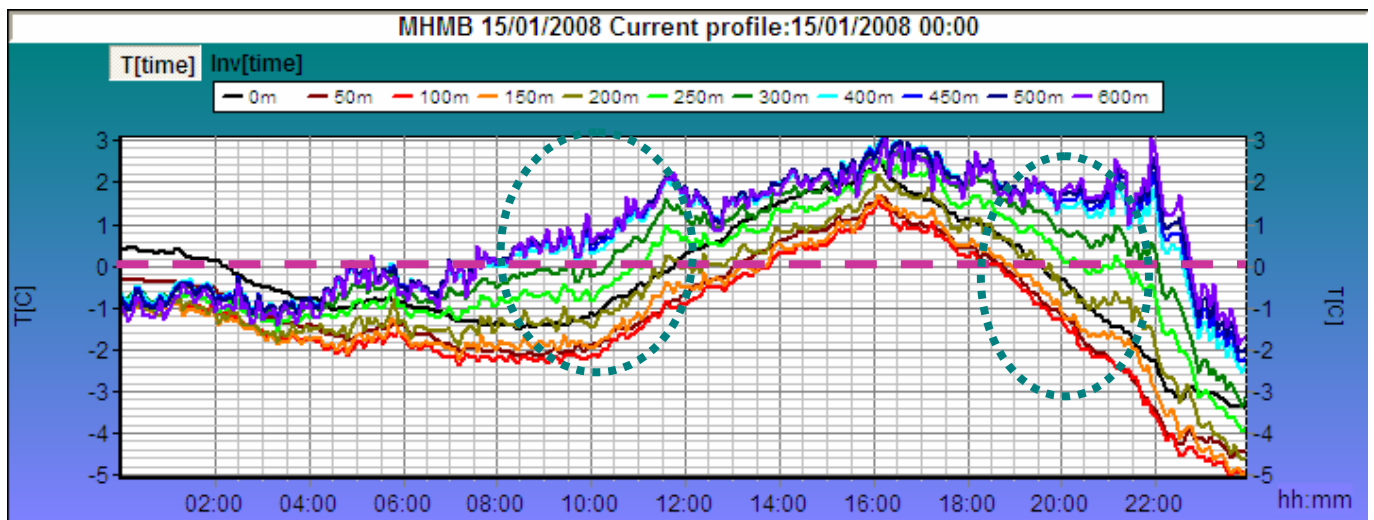


Рисунок 25 - Благоприятные для образования условия (синий контур): с 8:00 до 12:00 и с 19 до 22:00- температура в приземном слое отрицательная, в вышележащем слое (300-600 м) - положительная. Период 14-18 ч – условия для жидких осадков. (Штриховая линия - 0°C)

6. Использование данных МТП-5 для анализа и прогноза НМУ

Одна из главных задач прогнозистов качества воздуха – заблаговременно предусмотреть эпизоды высокого загрязнения воздуха. Таким явлениям (за исключением техногенных чрезвычайных ситуаций) предшествует определенное состояние нижних слоев тропосферы; для большинства городов – это слабый ветер в нижних слоях пограничного слоя при устойчивой стратификации в течение не менее 3- 6 часов.

Используемые на сети Росгидромета статистические схемы прогноза загрязнения воздуха включают метеорологические параметры, в т.ч., так называемый «синоптический предиктор». При составлении прогноза на предстоящие периоды важно правильно диагностировать текущее состояние нижних слоев атмосферы и понимать атмосферные процессы в предшествующее время, включая природу наблюдаемых температурных инверсий.

Данные наблюдений с помощью МТП-5 позволяют диагностировать одну из двух главных составляющих неблагоприятных метеорологических условий – термическую стратификацию. Физические процессы рассеивания – универсальны, но из-за физико-географических особенностей местности и специфики источников загрязнения в каждом городе эпизоды НМУ, сопровождающиеся высокими концентрациями загрязнений, формируются индивидуальными условиями. Для их выявления необходимо определить характеристики термической стратификации, способствующие опасному накоплению вредных примесей.

Основным руководящим принципом анализа данных МТП-5 при идентификации НМУ является установление интенсивности перемешивания и смены воздуха, т.е., атмосферных процессов, способствующих удалению загрязнений из приземного слоя. Безусловно, анализ данных МТП-5 следует проводить с учетом данных о скорости переноса в нижних слоях атмосферы. По наблюдениям в Москве при средней скорости переноса в нижнем слое до изобарической поверхности 925 гПа больше 6 м/с высоких концентраций в приземном воздухе не образуется. Установленная в каждом городе «критическая» средняя скорость переноса служит мерой идентификации возможности НМУ как в диагнозе, так и в прогностических периодах. В настоящее время практически во всех УГМС установлены АРМ ГИС-метео, с помощью которого можно получить прогностические данные о стратификации ветра в нижних слоях атмосферы.

В оперативной практике для диагностики и прогноза метеорологических условий рассеивания примесей рекомендуется проводить анализ в нижеприведенной последовательности, формируя визуализацию данных МТП-5 за предыдущие и текущие сутки:

а. Определить стационарность атмосферного процесса для каждого диагностируемого и прогностического периода, установив

- имеет ли место смена воздушной массы в последние 6-12 часов (индивидуального в каждом городе периода, достаточного для повышения загрязнения воздуха до критических уровней);

- имеет ли место адвекция воздуха с существенными изменениями температуры на верхних уровнях измерений (не менее 3 градусов в теплый сезон, не менее 2 градусов – в холодный);

- имеет ли место выпадение сильных или умеренных осадков в последние 6-12 часов.

Отсутствие этих признаков достаточно, чтобы в диагностируемый и последующий прогностический период НМУ не наблюдалось.

б. При наличии инверсии температуры в прошедший период

- определить ее происхождение, учитывая, что адвективная инверсия свидетельствует о смене воздушной массы, а радиационная – о предпосылках для накопления примесей в приземном слое, если она развивалась без влияния внешних факторов;

- по виду термограмм в период инверсии установить - имело ли место воздействие внешних факторов, которое выражается в резких скачках температуры и может свидетельствовать о наличии струйного течения или значительных сдвигов ветра, о замаскированной смене воздушной массы, об усилении турбулентного перемешивания и т.д.

На рисунке 26 приводятся примеры радиационной инверсии с отсутствием турбулентного перемешивания в слое инверсии и возмущенным перемещением струйного течения нижнего уровня. Как видно на рисунке (внизу), около 9 ч утра – время составления прогноза метеорологических условий загрязнения - в обоих примерах количественные характеристики инверсии практически совпадают. На рисунке справа иллюстрируется кратковременное разрушение термической устойчивости из-за опускания мезоструи (около 1 ч), которое продолжалось около 5 часов, способствуя перемешиванию воздуха в слое инверсии.

- рассчитать характеристики инверсии и слоя перемешивания, если они как инерционный фактор входят в схему прогноза загрязнения, обратив внимание на совпадение со средними сезонными показателями времени образования и времени разрушения инверсии. Если временные сдвиги существенны (например, запоздалое образование и разрушение инверсии), это может указывать на повышенное содержания примесей в городском воздухе в отсутствии признаков влияния других факторов.

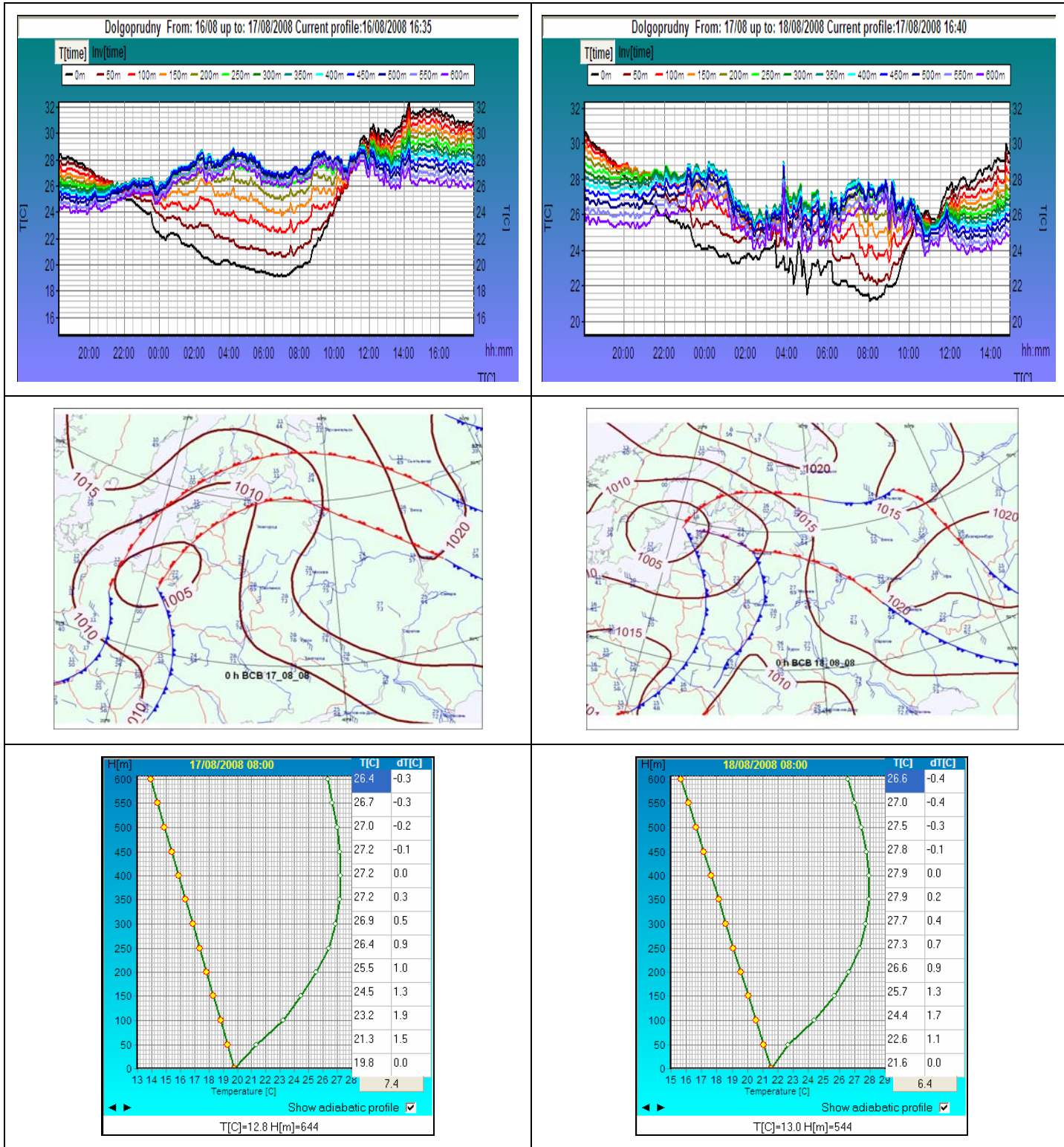


Рисунок 26 – Радиационные инверсии температуры: слева – типичная приземная инверсия при слабом ветре в нижних слоях атмосферы, справа - приземная инверсия с нарушением внутренней структуры вследствие интенсивной турбулентности. Пульсации температуры в инверсионном слое во втором примере указывают, что влияние такой инверсии на процессы рассеивания примесей существенно отличаются от инверсии с нормальным ходом теплообмена.

На рисунке 27 резкие скачки температуры в слое 400-600 м в ночной инверсии также свидетельствуют об активных процессах вертикального перемешивания (в данной ситуации- в области низкоуровневого струйного течения).

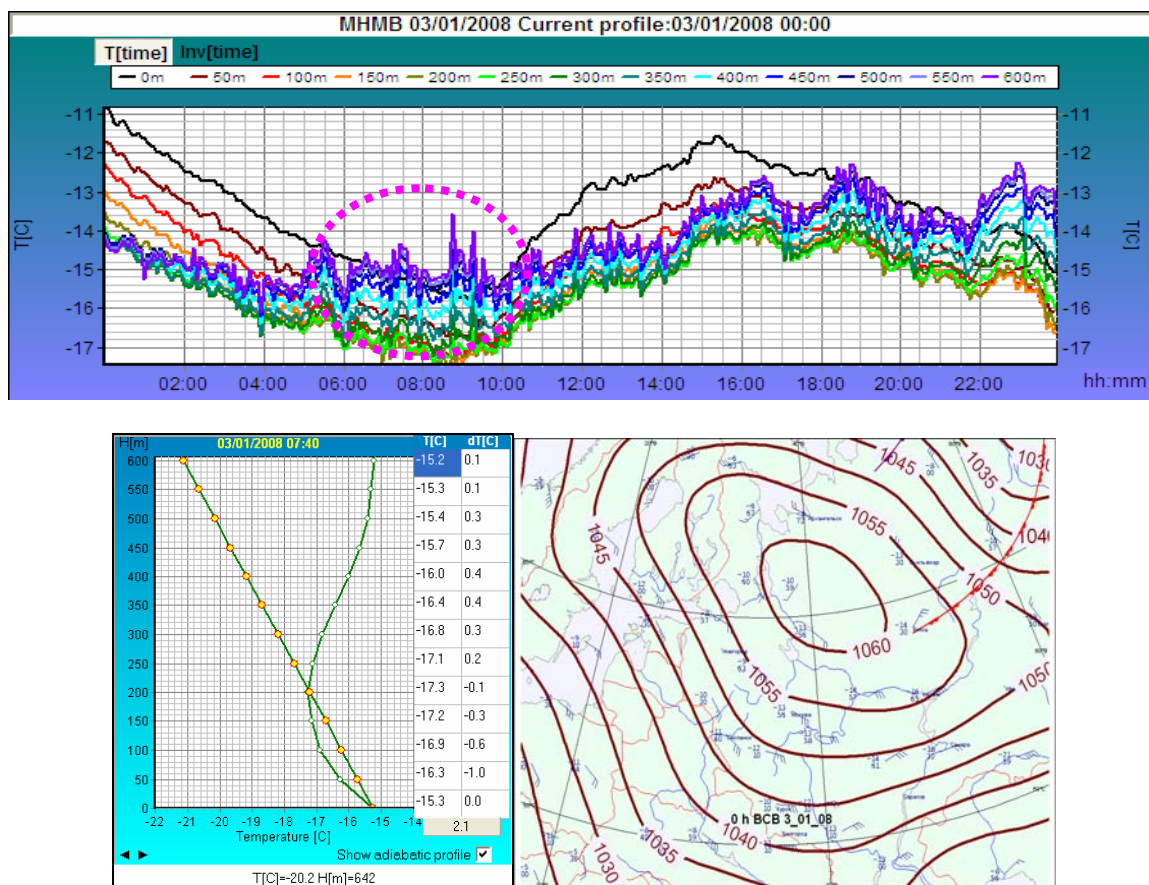


Рисунок 27 - Турбулизованная инверсия температуры (розовый контур)

в) Оценить возможность влияния на процессы рассеивания примесей внутригородских циркуляций

- ночью при слабых ветрах в пограничном слое атмосферы создаются благоприятные условия для формирования городского острова тепла; вынуждаемые им циркуляции воздуха способствуют переносу и рассеиванию примесей. На архивном материале рекомендуется установить механизм влияния городского острова тепла на формирование уровня загрязнения в отдельных районах города, которое имеет сезонные особенности и индивидуальны в каждом городе.;

- с использованием данных радиозондирования в ближайшем пункте (в ближнем пригороде или на окраине) в синхронные сроки выявить наличие значимого горизонтального градиента температуры. Также рекомендуется сравнить вертикальные градиенты температуры в приземном слое; существенные различия между ними указывают на различия термической структуры в городе.

В Москве, например, при величине разности температуры в приземном слое более 3°C , на высоте 300 м- более 1°C внутригородской перенос в нижних слоях атмосферы существенно влияет на формирование поля концентраций, в отдельных случаях способствуя образованию высокого уровня загрязнения на удаленных от источников подветренных городских окраинах;

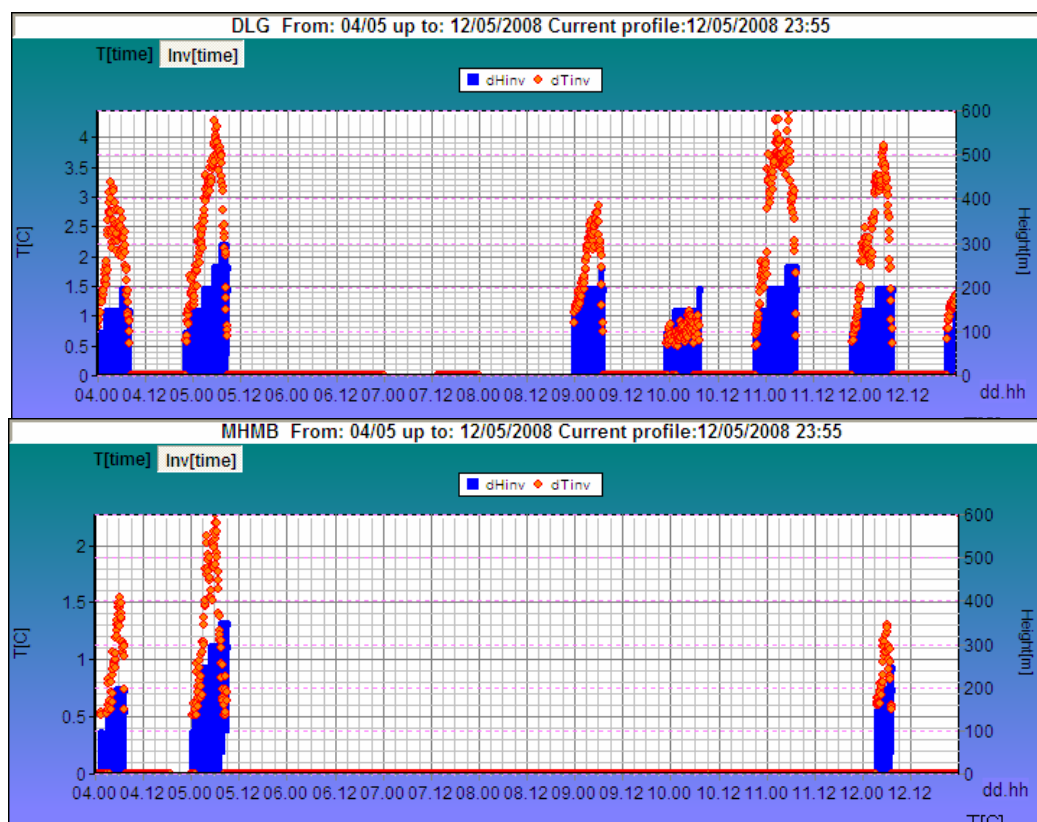


Рисунок 28 - Характеристики радиационных инверсий температуры в северном пригороде (верхний рисунок) и в центре Москвы (внизу) 4-12 мая. Очевидны различия в частоте образования инверсий (в городе в рассмотренном периоде в 2 раза реже), их величине (при максимальном развитии в пригороде величины инверсии почти в 3 раза больше) и продолжительности.

По наблюдениям в Москве в центре города приземная инверсия образуется в среднем в 3 раза реже, чем в ближнем пригороде и в 4 раза реже, чем на фоновой территории, не находящейся под тепловым влиянием Москвы.

г) Оценить возможность инерционного прогнозирования температурной стратификации на предстоящую ночь

- обобщив данные о характеристиках термического состояния в прошедшую ночь, с использованием прогностической информации о развитии атмосферных процессов составить заключение о возможности повторения в ближайшие сутки аналогичных условий термического перемешивания;

- учитывая, что при стационарных атмосферных процессах от ночи к ночи увеличивается термическая устойчивость приземных слоев атмосферы, с установленной для данного города поправками определить время образования и разрушения инверсии, ее величину и мощность.

д) Учесть особенности внутрисуточного хода стратификации температуры

Наибольшие внутрисуточные изменения термической устойчивости приземного воздуха характерны для теплого периода: из устойчивого состояния в темное время, благодаря развитию конвективного перемешивания, утром наблюдается переход в состояние термической неустойчивости. В послеполуденные часы складываются благоприятные условия для очищения приземного воздуха от примесей. Вечером переход к устойчивой стратификации совпадает с заходом солнца, но в загрязненной атмосфере этот процесс задерживается.

В Москве, например, в теплый период на послеполуденные часы приходится главный минимум в типовом суточном ходе загрязнений, второй- минимум – на 1-5 часов ночи. Первый максимум загрязнения наблюдается в 8-9 ч, то есть, после времени самых неблагоприятных для рассеивания метеорологических условий. Очевидно, этот максимум загрязнения обусловлен не только утренним пиком выбросов автотранспорта (основного источника загрязнения воздуха), но и предшествующими ослабленными условиями рассеивания. Вечерний максимум загрязнений более растянут во времени и наблюдается в среднем с 20 до 23ч. Если днем слой перемешивания был невысоким и сохранялся слабый ветер в нижней атмосфере, поздним вечером, при усилении термической устойчивости может наблюдаться увеличение загрязнения за счет опускания примесей из верхней части пограничного слоя.

В холодный сезон дневной слой конвективного перемешивания значительно меньше летнего; в большей степени условия для рассеивания примесей определяются стратификацией и величиной скорости ветра.

В силу индивидуальных особенностей характеристик источников загрязнения в каждом городе на архивном материале рекомендуется установить связи типа термической устойчивости (в предшествующий период) с содержанием примесей в репрезентативной зоне микроволновых измерений профилей температуры прибором МТП-5. Если на предварительном этапе сравнений данных радиозондирования (или мобильных измерений МТП-5) и синхронных измерений МТП-5 существенных различий между ними в среднем не будет выявлено, данные МТП-5 можно условно принимать за характеристику термической структуры на большей части города.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2002 г в Гидрометцентре России совместно с Центральной аэрологической обсерваторией была разработана «Инструкция оперативного использования данных МТП-5 для мониторинга состояния пограничного слоя атмосферы», утвержденная ЦКПМ Росгидромета в 2004 г. Настоящие Методические рекомендации являются усовершенствованным вариантом названной Инструкции в части анализа данных микроволновых измерений профилей температуры и не содержат описания технических характеристик дистанционного измерителя МТП-5.

Изменения температуры в нижних слоях атмосферы – результат крупномасштабных процессов и явлений мезомасштаба. В больших городах все более значимым фактором становится антропогенное воздействие на процессы в нижней атмосфере, которое приводит к изменению газового состава и процессов радиационного обмена, что в свою очередь способствует явлениям, несвойственным атмосфере на фоновых территориях (усиление термической неустойчивости, формирование «городских» инверсий, внутренние циркуляции в городском острове тепла, увеличение количества выпадающих осадков и т.д).

При дефиците информации о процессах в нижней атмосфере многолетний опыт использования данных МТП-5 как в оперативном режиме, так и для научных исследований показывает эффективность дистанционного мониторинга термического состояния нижних слоев атмосферы как средства контроля самой изменчивой части атмосферы – пограничного слоя.

Данные МТП-5 прежде всего дают возможность проводить детализированный анализ процессов в предшествующее время, уточнять не выявленные традиционными способами явления и определить их природу. В то же время приобретение навыков работы с данными МТП-5 позволяет с малой заблаговременностью выявлять признаки изменения погоды и оценивать возможность НМУ как в прогнозе на сутки, так и при диагностике условий в предшествующий период. Последнее является не менее важной, чем прогноз задачей, поскольку и разработка методов прогноза загрязнения, и их уточнение должны основываться на максимально достоверной информации о термической устойчивости – одном из главных предикторов загрязнения воздуха.

В силу специфических особенностей больших городов связь загрязнения воздуха с термическими характеристиками может различаться. Не исключено, что и некоторые погодные явления по-разному отражаются в поле температуры нижней атмосферы, отображаемого МТП-5. Авторы представленного Проекта Рекомендаций с благодарностью примут все замечания и пожелания синоптиков и специалистов по прогнозу метеоусловий и загрязнения воздуха, а также ссылки на неописанные в настоящей работе явления, обнаруженные в визуализированных данных МТП-5 в каждом пункте.

Приложение 1.

Соответствие между классами устойчивости и температурной стратификацией

Динамическое взаимодействие подстилающей поверхности на воздушный поток порождает турбулентность, а термическая стратификация усиливает или подавляет ее. В таблице 1 представлены характеристики соотношения термического состояния нижнего слоя атмосферы и термической стратификации, полученные зарубежными исследователями (Паскуилл, Тернер) и в ИЭМ под руководством Н.Л.Бызовой.

Таблица 1 - Качественное соответствие между классами устойчивости и стратификацией температуры

Характеристика стратификации	Способ определения устойчивости		
	По Паскуиллу	По Тернеру	Тернер-ИЭМ
Очень неустойчивая	A	1	1
Умеренно неустойчивая	B	2	2
Слабо неустойчивая	C	3	3
Безразличная	D	4	4
Слабо устойчивая	-	5	5
Умеренно устойчивая	E	6	6
Очень устойчивая	-	7	7

Следует подчеркнуть, что типизация устойчивости проводилась применительно к интенсивности турбулентности для расчетов рассеяния примеси, т.е. в отличие от узкого класса условий рассеивания примеси за счет механизма конвективного перемешивания учитывается фактор турбулентного перемешивания. В настоящее время типизации устойчивости, как правило, содержат по 6-7 категорий или классов (3 градации неустойчивого состояния, 2-3 устойчивого и нейтральную категорию).

Расширение представлений о процессах рассеивания примеси может помочь практикующим специалистам объяснить часть случаев с низким уровнем загрязнения при невысоком слое перемешивания или малых его величинах, полученных традиционным способом - сравнением с кривой состояния, или при устойчивой стратификации без наличия инверсии.

В таблице 2 приводятся результаты экспериментальных наблюдений и обработки данных наблюдений на высотной метеорологической мачте в г. Обнинске, представлено частотное

распределение вертикальных градиентов температуры в слое 2-120 метров в зависимости от класса устойчивости.

Таблица 2 - Повторяемость (% от числа случаев определения класса) значений вертикального градиента температуры в слое 2-120 м (T_2-T_{120})

Класс устойчивости (классификация Тернера-ИЭМ)	N	Градиент температуры, °С/100 м						
		3,5...2,6	2,5...1,6	1,5...0,6	0,5...-0,5	-0,6...-1,5	-1,6...-3,5	<-3,5
Очень неустойчивая	26	35	30	35				
Умеренно неустойчивая	66	33	48	15	1		3	
Слабо неустойчивая	113	11	23	41	9	9	7	
Безразличная	142		9	40	38	8	5	
Слабо устойчивая	69			19	42	19	18	2
Умеренно устойчивая	76			4	18	18	42	18
Очень устойчивая	106			1	5	7	28	59

Данные таблицы 2 показывают достаточно широкий диапазон градиентов температуры в приземном слое внутри одного класса устойчивости; это является отражением того, что происходящие в нижних слоях атмосферы процессы переноса и рассеивания за счет упорядоченных движений и турбулентности также не отражают полностью все механизмы теплообмена, следовательно, и переноса примеси.

Для практических целей при разработке и оценке схем прогноза метеорологических условий и загрязнения воздуха можно рекомендовать

- либо использовать расширенную типизацию классов устойчивости
- либо количественные предикторы, а именно, величины вертикальных градиентов в нижнем 100-метровом слое атмосферы, поскольку высота преобладающей части источников выбросов ниже этого уровня.